


LIBRARIES
09826 1





MÉTÉOROLOGIE GÉNÉRALE

Typographie Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.

MÉTÉOROLOGIE GÉNÉRALE

LES MOUVEMENTS
DE L'ATMOSPHÈRE
ET LES VARIATIONS DU TEMPS

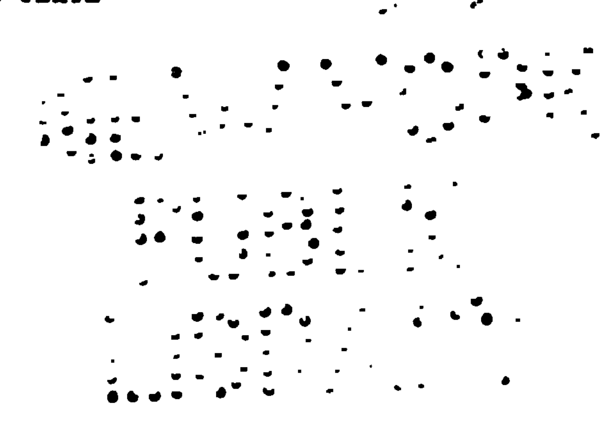
PAR

H. MARIÉ DAVY

DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE DE MONTSOURIS, PARIS

Avec 24 cartes tirées en couleur

ET DE NOMBREUSES FIGURES DANS LE TEXTE



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

BOULEVARD SAINT-GERMAIN, EN FACE L'ÉCOLE DE MÉDECINE

M DCCC LXXVII

PRÉFACE

Un premier tirage du livre *Des Mouvements de l'Atmosphère* se trouvant épuisé, nous avons cru devoir en profiter pour apporter quelques améliorations à notre œuvre.

En général, la science moderne marche d'un pas si rapide, que souvent un ouvrage est à peine achevé que déjà il a vieilli en quelqu'un de ses points, soit parce que de nouveaux faits découverts modifient les théories antérieurement admises, soit parce que l'auteur, préoccupé d'un point de doctrine, y concentre l'attention du lecteur, laissant dans l'ombre d'autrés aspects qui réclament à leur tour des éclaircissements.

Nous avons peu de changements de cette nature à apporter à notre livre : la météorologie générale a peu progressé dans notre pays depuis 1865; cependant, la théorie des cyclones a été récemment l'objet de nombreuses et intéressantes communications à l'Académie des sciences, et M. Faye l'a traitée avec autorité dans une notice de l'*Annuaire du bureau des longitudes* pour 1875. Cette importante théorie avait été exposée par nous d'une manière incomplète; nous en avons revu et complété le texte en renvoyant dans une note ajoutée à la fin de l'ouvrage le

résumé du Mémoire de M. Peslin sur les conditions d'équilibre de l'atmosphère, et des travaux de M. Meldrum sur les tempêtes tournantes.

Si la connaissance des grands mouvements de l'atmosphère et leur application à la prévision du temps n'a fait chez nous que de faibles progrès, par contre, elle a été prise en très-grande faveur à l'étranger. Il n'est plus de pays, si petit qu'il soit en étendue, qui n'ait organisé ou qui n'organise son service météorologique intérieur pour donner à ses ports des avis écoutés quand ils sont efficaces.

L'Atlas des grands mouvements de l'atmosphère que nous avions commencé à l'Observatoire de Paris avec notre regrettable ami M. Sonrel, a été abandonné en France; il a été repris en Danemark par M. Hoffmeyer, directeur de l'Observatoire météorologique de Copenhague.

Les observations météorologiques réunies dans le bulletin quotidien de l'Observatoire astronomique de Paris n'embrassent que l'Europe; de nombreuses lacunes et de fréquentes erreurs de transmission ou de copie en rendent l'emploi très-incertain. Des observations faites au même instant dans toutes les parties civilisées du globe sont concentrées à Washington et imprimées par les soins du général Myer, qui publie, d'ailleurs, chaque jour, des cartes météorologiques embrassant la vaste étendue de l'Amérique du Nord. On peut donc, aujourd'hui, suivre la marche des tempêtes dans l'hémisphère nord depuis l'océan Pacifique jusque dans l'extrémité orientale de l'Asie. Les faits déjà recueillis ne changent rien aux grandes lois des mouvements de l'atmosphère que nous avons résumées dans notre ouvrage; mais les détails pourront ultérieurement être mieux précisés.

Les cartes météorologiques quotidiennes de l'Observatoire astronomique de Paris ne renferment, pour les vents, que la direction indiquée par les girouettes, avec la vitesse de ces vents rasants évaluée par simple estime. M. Hildebrand, de l'Observatoire d'Upsal, a construit de nouvelles cartes indiquant la direction des cirrus, témoins les plus élevés que nous puissions consulter sur la direction des courants supérieurs de l'atmosphère.

Dans ce grand mouvement qui se développe avec ensemble à l'étranger, nous sommes heureux de constater que la marine française n'a pas cessé de prendre une part très-active à des travaux qui l'intéressent au plus haut degré. Les nouvelles cartes des vents et traversées de l'Atlantique, par M. le lieutenant Brault, ont vivement attiré l'attention de la section météorologique du Congrès international de géographie, à côté des travaux bien connus de la marine anglaise et de la marine des Pays-Bas. M. l'amiral Bourgeois avait déjà été le premier à bien comprendre le mode de circulation de l'air à la surface de l'Atlantique nord.

Dans ces conditions, on comprend que les météorologistes des divers pays aient cherché à se rapprocher, à unir et coordonner leurs efforts afin de constituer la science d'une manière plus rapide et plus sûre. Un Congrès international des météorologistes a été tenu à Vienne en 1874 à la suite de deux congrès préparatoires tenus à Leipzig et à Bordeaux : son objet était de reprendre l'œuvre interrompue du Congrès de Bruxelles. Aux paragraphes relatifs à ce dernier nous en avons substitué d'autres, résumant les travaux des Congrès de Vienne et Bordeaux.

Étranger depuis plusieurs années à la direction du service des avertissements aux ports français que nous avions,

non sans peine, organisé dans tous ses détails à l'Observatoire de Paris, nous n'avons pas cessé de le suivre dans sa marche progressive en Europe et en Amérique, et de continuer, dans l'établissement dont la direction nous est confiée, la recherche des signes précurseurs de l'arrivée des tempêtes ou des grands changements de temps. Les mouvements de l'aiguille aimantée sont les premiers et plus lointains précurseurs des faits météorologiques qu'il nous importe tant de prévoir. Les boussoles commencent à devenir inquiètes, à s'écarter de leur marche habituelle, alors que les mauvais temps se dessinent dans les parages de Terre-Neuve, environ quatre jours avant qu'ils arrivent jusqu'à nous. Les changements dans le degré de transparence des hautes régions de l'atmosphère, les variations de la quantité de vapeur d'eau contenue dans toute l'épaisseur de la couche atmosphérique, et non plus seulement à la surface du sol, suivent d'assez près les indications des boussoles : ce sont alors les divers actinomètres de jour et de nuit qu'il faut consulter. La composition chimique de l'air, la nature des poussières qu'il charrie nous offrent aussi leurs renseignements particuliers. On ne saurait trop s'entourer de lumière dans la solution d'un problème aussi difficile et aussi grave que la prévision du temps, problème qui exige une grande promptitude dans l'analyse d'une situation presque toucours complexe, en même temps qu'un grand dévouement à sa tâche et l'absence de toute préoccupation étrangère à l'œuvre qu'on poursuit.

MARIÉ DAVY.

Paris, le 16 avril 1876.

INTRODUCTION

La météorologie est la science du temps. Elle a pour base l'observation patiente et continue des mouvements de l'air, des variations dans la température, des changements dans l'aspect du ciel, en un mot, de tous les phénomènes ou météores nés dans le sein de l'atmosphère. Ses moyens se résument dans la comparaison des données recueillies sur toute la surface du globe. Son but est de reconnaître les qualités distinctives des climats pour en retirer la plus grande somme d'utilité possible, de rechercher les causes de leurs diversités et des accidents qui s'y produisent, et, finalement, d'arriver à la prévision du temps.

Il n'est guère de science d'un plus facile accès et où les moyens d'étude soient plus à notre portée. Souvent même on se méprend singulièrement sur les conditions nécessaires pour l'aborder avec fruit et pour aider à sa marche. Les principes généraux sur lesquels elle repose peuvent toutefois s'acquérir sans grands efforts. Une fois qu'on en a la possession, l'observation des variations du temps et de leurs signes précurseurs devient une occupation pleine de

charmes qui conduit à des applications d'une incontestable utilité.

Nous nous sommes proposé, en écrivant cet ouvrage, de fournir à toutes les personnes curieuses des phénomènes de l'atmosphère les connaissances générales nécessaires à l'intelligence des variations du ciel dans nos climats. Ces variations sont loin d'être pareilles dans toutes les régions du globe.

Il est des contrées où le ciel est presque toujours pur et l'air calme : là, cependant, se préparent les plus violentes perturbations dont nous ayons à souffrir. Les tempêtes qui bouleversent nos côtes, les intempéries des saisons qui compromettent nos récoltes, n'ont pas chez nous leurs causes premières ; elles sont la conséquence ou la continuation de troubles produits loin de nous. De l'équateur aux pôles, les climats sont dans une dépendance étroite les uns des autres. Leur étude comparative offre de grands attraits et seule elle permet d'arriver aux causes des vicissitudes de notre atmosphère.

Sans entrer dans le détail minutieux des faits, nous avons cherché à coordonner les grandes lois découvertes par nos éminents prédécesseurs et à formuler celles qui découlent des résultats nouvellement acquis. La connaissance de ces lois, en aidant à l'interprétation des indications fournies par les instruments météorologiques ou par l'aspect du ciel, contribuera, nous l'espérons, à accroître encore l'intérêt pour une science utile à tous et dont les progrès sont liés au nombre de ses adeptes.

La météorologie a existé dès la plus haute antiquité ; mais

pendant bien des siècles elle s'est composée de faits sans liens entre eux, présentant le spectacle d'une instabilité sans pareille et sur lesquels la science ne pouvait avoir prise. Cette situation devait changer le jour où les relations plus fréquentes entre les divers peuples et l'union des efforts de tous les météorologistes permirent d'envisager les mouvements de l'atmosphère dans leur ensemble et d'en dominer les détails. Dès ce moment la science du temps a commencé à se constituer sur ses véritables bases et sa marche a été rapide. Reconnaissons toutefois qu'elle a trouvé dans les sciences modernes un très-utile concours, et des ressources inconnues dans les siècles passés. La météorologie n'est en effet qu'une application de la mécanique et de la physique aux phénomènes de l'atmosphère, et ces sciences, loin d'être pour elle un motif de complication et d'obscurité, donnent sans effort la clef de certains faits longtemps inexpliqués. D'un autre côté, la découverte du télégraphe électrique et son extension rapide à la surface du globe créent à la science du temps des conditions exceptionnellement favorables et propres à hâter ses progrès.

L'imagination des anciens avait peuplé l'univers de divinités présidant à chaque phénomène de la nature. La vie débordait partout, telle que nous la sentons en nous, avec ses caprices et son imprévu. La science moderne plus austère a détrôné, ces êtres charmants, quelquefois redoutables : elle a mis à leur place des forces dont elle a successivement déterminé les lois. A l'arbitraire a succédé la règle hésitante encore bien souvent, mais se fortifiant peu à peu.

Vue sous ce nouvel aspect, la nature est-elle moins belle? Non ; ses beautés sont d'un autre ordre. La contemplation des transformations sans fin qui s'y produisent et des moyens toujours simples qu'elle emploie pour arriver aux résultats les plus compliqués peut largement compenser les rêves dorés qui ont bercé l'humanité naissante. A l'enfance avec ses joies naïves a succédé l'âge mûr avec ses jouissances plus contenues mais non moins profondes.

Les forces nombreuses au début tendent à se fondre graduellement dans une conception plus grandiose. *Rien ne se crée, tout se transforme ;* cette pensée déjà bien ancienne reprend possession de la science.

La lumière, l'électricité, le magnétisme... sont le résultat de mouvements particuliers de l'*éther*[1] et peuvent, sous certaines conditions, se transformer l'un dans l'autre. Les forces dont l'industrie dispose, les actes compliqués de la vie chez les animaux et les végétaux, nous fournissent de nombreux exemples de ces transformations auxquelles se rattachent aussi les principaux phénomènes de l'atmosphère.

La puissance de nos machines à vapeur naît de la transformation du mouvement qui constitue la chaleur, et cette puissance convenablement employée peut régénérer la chaleur dont elle émane.

Le bois que nous brûlons dans nos foyers a reçu pendant sa croissance, sous forme de chaleur et de lumière, l'équivalent de ce qui s'en dégage par sa combustion. La plante

[1] L'éther est un fluide d'une extrême ténuité remplissant les espaces célestes. Il conduit la lumière et la chaleur comme l'air conduit les sons.

recueille les émanations du soleil nécessaires à son développement ; elle se les approprie. Elle en dépense une certaine proportion dans l'exercice de ses fonctions vitales et de reproduction ; mais elle en conserve à l'état latent une partie en rapport avec sa nature et son poids.

L'animal utilise la somme de puissance mise en réserve dans les tissus des végétaux dont il se nourrit ; mais il ramène ces derniers, par une espèce de combustion, aux éléments qui serviront à constituer d'autres plantes sous l'influence des forces vitales, et par l'intermédiaire des émanations solaires. L'animal à son tour dépense une partie de la force qu'il s'est assimilée ; il l'emploie au jeu de ses muscles, à l'exercice de ses fonctions vitales, instinctives, intellectuelles même ; il conserve l'excédant dans la substance de ses tissus pour pourvoir aux heures où l'alimentation lui fait défaut, ou pour servir lui-même à l'alimentation d'autres animaux.

Toute la puissance contenue dans les rayons solaires n'est pas utilisée directement par les végétaux. La lumière sert en outre à éclairer les relations entre les divers êtres vivants. La chaleur en excès entretient dans l'atmosphère une température sans laquelle la vie serait supendue ; elle fournit à la dépense de chaleur qu'entraîne l'évaporation, origine des pluies indispensables à la végétation.

La plante vit de lumière et de chaleur ; les substances qu'elle puise dans le sol et dans l'atmosphère ne sont que les instruments de son travaïl d'organisation. La richesse de la végétation à la surface du globe y est donc en rapport

avec l'activité des rayons solaires comme avec l'abondance des matériaux utiles; chaque plante est liée au climat sous lequel elle vit.

La chaleur et la lumière sont moins nécessaires aux animaux qui trouvent le travail tout préparé dans les plantes. Cependant, les divers actes accomplis dans leurs organes ne peuvent s'y produire qu'entre certaines limites de température. Par une température trop basse la vie s'engourdit et finit par s'éteindre; sous l'influence d'une température trop élevée elle devient fiévreuse et s'épuise par son excès même, ou bien elle est rendue impossible par l'altération des fluides qui l'entretiennent.

Quand l'animal n'est pas suffisamment maître de sa propre température, il est, comme la plante, astreint à vivre dans des climats déterminés. L'homme et les animaux qui le servent sont mieux doués sous ce rapport. Notre organisme est d'une merveilleuse flexibilité; il se plie aux conditions atmosphériques les plus diverses; mais il nous avertit par la souffrance lorsque nous commençons à nous trop écarter des conditions qui lui conviennent.

Un des effets nécessaires de la vie en nous est une production continue de chaleur dans l'intimité de nos organes. Une partie de cette chaleur est consommée dans l'exercice de nos fonctions vitales; l'autre, destinée à nous maintenir au degré de température voulu, dans un milieu à température plus basse, sert à subvenir aux pertes que nous y éprouvons.

Ces pertes sont de diverses natures: le rayonnement et le contact de l'air froid dans les climats tempérés; dans tous

les climats, l'évaporation à la surface interne de nos poumons et à la surface extérieure de notre corps. L'économie peut régler ses fonctions de manière à accroître ou à restreindre la production de chaleur suivant l'importance des besoins; c'est en cela que consiste le travail d'acclimatation, travail incessant comme les changements dans la température extérieure. Il faut seulement pourvoir par une alimentation appropriée à la double consommation de chaleur provenant de l'exercice des fonctions vitales et des pertes au dehors. Ces dernières n'étant qu'une fraction du total pèseront d'autant moins dans l'ensemble que la vie générale sera plus active; mais. dans aucun cas, elles ne peuvent être ni complétement supprimées ni exagérées au delà d'une certaine mesure.

La température moyenne de notre corps est d'environ 37 degrés; elle reste à très-peu près la même, au moins dans les organes essentiels à la vie, sous les plus rudes climats comme au milieu des régions brûlantes de l'équateur.

Dans les zones glaciales ou pendant les rigoureux hivers du nord de l'Europe, de l'Amérique et de l'Asie, nous perdons d'énormes quantités de chaleur. Notre organisme s'efforce d'y pourvoir par une production correspondante, et, parmi les aliments, nous recherchons les plus riches en carbone, tels que les corps gras et les liqueurs alcooliques. La respiration s'active pour fournir l'oxygène nécessaire à la combustion de ce carbone et les voies respiratoires surexcitées sont fréquemment exposées aux altérations morbides. Lorsque, malgré tous ses efforts, l'organisme ne peut suffire

à la consommation de chaleur sous l'influence d'un froid trop rigoureux ou parce que les matériaux combustibles lui font défaut, la vie s'engourdit peu à peu, le sommeil devient invincible et la mort ne tarde pas à survenir.

Dans les pays chauds, au contraire, l'organisme de l'homme a réglé son travail sur une faible consommation de chaleur ; la somme de puissance contenue dans les aliments y est presque tout entière dérivée vers les fonctions vitales ; les poumons fonctionnent avec moins d'intensité ; les matériaux incomplétement brûlés sont excrétés par le foie qui devient l'organe le plus actif et le plus exposé aux altérations morbides.

L'homme acclimaté aux pays chauds souffre dans nos régions tempérées parce qu'il ne peut suffire sans efforts aux pertes de chaleur qu'il y subit. L'homme acclimaté aux pays froids, au contraire, ne sait que faire, dans les régions tropicales, de la chaleur qu'il produit en excès. L'un et l'autre doivent modifier en sens contraire l'emploi des forces dont ils disposent. C'est un travail lent et pénible, car l'outillage vital est, pour ainsi dire, à refaire à chaque changement important dans le climat où nous vivons.

Nos impressions sont donc et doivent être souvent en désaccord avec les indications du thermomètre. Le thermomètre donne la température vraie à laquelle il se trouve ; l'impression n'est que le sentiment d'une modification qui s'opère en nous et le résultat de la facilité plus ou moins grande avec laquelle nous supportons ce changement. La même eau nous paraît froide en été, chaude en hiver. Ce n'est pas elle qui a changé, c'est nous. Lorsque le visage et

les mains sont habitués aux froids de l'hiver, si nous découvrons une partie du corps ordinairement garantie, l'impression y est vive et douloureuse. Une température de dix à douze degrés au-dessus de zéro constitue un froid pénétrant si elle succède à une journée très-chaude. Une température de zéro degré produit en nous l'impression d'une douce chaleur lorsqu'elle succède brusquement à de grands froids. Dans l'un et l'autre cas, l'effet ressenti est d'autant plus vif que l'économie est moins bien disposée à se plier à ces transformations.

Tout est relatif en nous, et si nos organes sont inhabiles à nous fournir des indications précises relativement à l'état de l'atmosphère, ils n'en doivent pas moins être consultés, parce qu'ils nous éclairent sur notre propre situation.

Ces considérations sont nécessaires pour bien interpréter le rôle des divers climats du globe dans le développement et le bien-être de l'homme. Elles ne suffisent pas cependant. Si l'homme possède à un haut degré la faculté de se plier aux conditions atmosphériques au milieu desquelles il doit vivre, il ne peut échapper entièrement à leur lente influence, et surtout à celle des productions miasmatiques variables avec ces conditions. Des modifications profondes s'opèrent graduellement et dans les générations successives, dans son être intellectuel et moral, de même que dans son tempérament physique. L'homme tout entier dépend du ciel qui le chauffe et l'éclaire, et du sol qui le nourrit. Il y a là de grands problèmes que la science aborde résolûment depuis quelques années; la météorologie fournit un des éléments de leur solution.

Un climat est le résultat complexe de causes multiples dont chacune doit être étudiée isolément avant de les réunir dans la synthèse qui les résume. La lumière, la chaleur, l'humidité, les vents constituent, avec la nature du sol, ses principaux éléments. L'atmosphère est leur lien commun. La forme de la terre, le double mouvement dont elle est animée sur elle-même et autour du soleil, l'obliquité de son axe de rotation sur le plan de l'orbe qu'elle décrit dans l'espace, la répartition des terres et des mers à sa surface, la forme des continents, le froid extrême des espaces planétaires dans lesquels elle se meut... sont les causes essentielles de la diversité des conditions climatériques des diverses contrées.

Le rôle de l'atmosphère est des plus remarquables à de nombreux égards. On sait quelle est son importance dans la respiration des animaux et des végétaux; on sait également que l'air est le milieu dans lequel se passent tous les faits du domaine de la météorologie; on sait moins bien la part qui lui revient dans la distribution de la chaleur à la surface du globe. Les physiciens estiment que la température des espaces planétaires est d'une centaine de degrés au-dessous du point de fusion de la glace, malgré l'activité des rayons solaires. La terre serait alors un globe éternellement glacé, si l'atmosphère ne formait autour d'elle un vêtement qui l'abrite contre les froids des régions planétaires. L'air humide se laisse, en effet, traverser par les rayons solaires; mais, lorsque ces derniers ont servi à échauffer le sol, l'air humide oppose une résistance très-prononcée à leur retour dans l'espace : l'atmosphère nous

permet de recevoir et nous oblige à garder la chaleur versée par le soleil.

Cette chaleur s'accumule donc à la surface du globe d'où elle passe en partie dans les couches d'air voisines; aussi la température diminue-t-elle rapidement à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère et trouve-t-on des neiges perpétuelles au sommet des hautes montagnes, jusque sous l'équateur lui-même. Presque tous les climats de la terre peuvent ainsi se présenter par étages dans un étroit espace, et les productions de l'Europe se rencontrer à quelques lieues seulement des végétations tropicales.

Les régions équatoriales, exposées toute l'année à l'ardeur d'un soleil presque vertical, sont généralement les plus chaudes du globe; à mesure qu'on s'avance vers les pôles, la terre s'incline et fuit pour ainsi dire sous les rayons solaires; le soleil lui-même perd de sa force, parce qu'avant d'arriver jusqu'à nous, il doit traverser des couches atmosphériques rendues plus épaisses par l'obliquité. Dans les heures successives du jour, nous retrouvons l'image affaiblie des changements de température observés à la même heure de midi entre l'équateur et les pôles. Ces changements toutefois sont loin d'être partout aussi prononcés qu'ils devraient l'être d'après la forme arrondie de la terre.

L'air est un gaz éminemment dilatable par la chaleur et doué d'une extrême mobilité. Les plus faibles inégalités de température suffisent à le mettre en mouvement. Jamais et nulle part nous ne le trouvons complétement en repos.

Les vents sont d'une inconstance proverbiale dans nos

climats; mais quand on les voit dans leur ensemble on y reconnaît bientôt une circulation régulière et continue transportant l'air chaud des régions équatoriales vers des régions tempérées, et, en certains points, jusque dans les zones glaciales dont elle adoucit le climat. Par contre, dans certaines autres contrées, nous voyons l'air refluer des régions polaires vers les régions tempérées qui s'en trouvent refroidies, ou des régions tempérées vers la zone torride dont il modère la chaleur. Les eaux de l'Océan participent à ces mouvements, et les côtes occidentales de l'Europe en particulier sont baignées par des eaux chaudes venues de l'équateur et du golfe du Mexique jusque dans les parages de l'Islande, du Spitzberg et même de la mer polaire; aussi les hivers sont-ils très-doux en Irlande, tandis qu'à Irkoutsk, situé au milieu de l'Asie, à la latitude moyenne du sud de l'Irlande, le froid est d'une rigueur extrême en hiver.

A ces influences viennent s'en ajouter d'autres également très-actives.

L'eau s'évapore en grande abondance dans les pays chauds et surtout à la surface des mers intertropicales. En se transformant en vapeur, elle emporte avec elle beaucoup de chaleur qu'elle restitue aux régions plus froides où l'entraînent les courants aériens et où elle reprend sa forme première.

D'un autre côté, la terre s'échauffe et se refroidit avec une rapidité beaucoup plus grande que les eaux. La température de l'Océan varie peu du jour à la nuit et même de l'été à l'hiver. L'uniformité de son climat se transmet aux

terres voisines, tandis que dans l'intérieur des grands continents on peut observer en un même lieu des différences de 60 à 80 degrés entre les températures successives d'une même année.

Dans les régions équatoriales directement chauffées par le soleil la température est peu changeante ; elle diffère également peu d'un point à l'autre, sauf pour des raisons d'altitude. Mais, dans les hautes latitudes où les courants aériens ou marins viennent suppléer pendant l'hiver à l'insuffisance de la chaleur solaire, les différences s'accentuent fortement suivant qu'on se trouve sur le trajet des courants chauds ou des courants froids de retour. L'éloignement où nous sommes des lieux d'origine de ces courants donne à leurs effets moins de sûreté et permet l'intervention de causes accidentelles et secondaires dont il faut étudier les allures, car ces causes contribuent pour une large part à donner à notre climat son inconstance et son apparence déréglée.

Les influences que nous venons de passer rapidement en revue sont permanentes, leurs effets généraux ou particuliers se constatent par des moyennes d'observations plus ou moins prolongées. Ces moyennes donnent les grandes lignes de la climatologie du globe; sur elles viennent se broder les détails les plus capricieux en apparence.

Chaque observateur isolé enregistre les phénomènes successifs dont il est témoin ; par un travail patient et soutenu il arrive à déterminer la température moyenne du lieu qu'il habite et à mesurer les variations diurnes et mensuelles de cette température ; il évalue la quantité d'eau qui mouille

annuellement le sol et son mode de répartition dans les divers mois; il dénombre les jours de calme ou de tempête, de pluie ou d'orage, ceux où le ciel est pur ou chargé de nuages ; il précise la direction moyenne des vents dans sa localité et leurs évolutions plus ou moins rapides et nombreuses. Ce travail, base essentielle de la météorologie, lui fournit les éléments du climat qu'il habite. Mais pour en bien comprendre les vrais caractères et surtout la raison générale, il faut qu'il compare ses résultats à ceux obtenus sur les divers points du globe ; ce travail de comparaison est rendu facile par les cartes ou tableaux, par les formules ou les lois destinées à coordonner les faits connus. Mais les moyennes sont insuffisantes au point où en est arrivée la science ; elles forment dans leur ensemble comme une belle statue à laquelle manque le souffle qui l'anime. Elles ont pour effet nécessaire de masquer l'accident météorologique; or l'accident est la vie de la science; lui seul peut nous faire comprendre le mécanisme et les lois des incessantes variations du ciel dans nos climats tempérés et par suite nous fournir les moyens de les prévoir.

Le dernier terme de toute science moderne est la pratique, et, en météorologie surtout, la prévision. L'homme veut connaître la conséquence de ses actes, et, pour agir, il a besoin de savoir ce qui l'attend le lendemain. A toute époque, il a consulté les augures, les devins ou les esprits. Le devoir de la science est de lui enseigner la recherche et l'interprétation des faits qui l'entourent, de lui fournir les éléments de ses propres prévisions et de le mettre en mesure de porter lui-même ses jugements.

Le travail des moyennes peut avantageusement rester un travail local ; l'étude de l'accident, de son origine, de son mode d'action et de progression est nécessairement un travail d'ensemble. Cette étude ne peut aboutir à des résultats utiles qu'à la condition de porter sur une vaste agglomération de matériaux recueillis à la même heure. L'atmosphère forme un tout harmonique autour de la terre. Aucune perturbation ne peut se manifester en un de ses points sans que l'ensemble ne concoure à la produire et n'en ressente le contre-coup. Chaque changement dans l'état de notre ciel s'est préparé loin de nous et pour en comprendre la nature et surtout pour en prévoir à l'avance les effets, il faut avoir assisté à la production du phénomène dont il dépend, l'avoir suivi dans les phases diverses de son développement, de son état et de sa fin. Le seul moyen d'y parvenir est d'avoir simultanément sous les yeux l'état de l'atmosphère à une même heure sur la plus grande étendue possible de la surface du globe et de pouvoir comparer entre eux ces états successifs afin d'assister, pour ainsi dire, aux transformations qui s'y produisent.

Les pluies fréquentes et de longue durée chagrinent l'habitant des villes, qui n'en ressent que les inconvénients; l'habitant des campagnes les appelle souvent de tous ses vœux ; il ne redoute que les pluies intempestives. Les beaux temps prolongés ne lui sont pas moins funestes quand ils sont en désaccord avec les besoins de l'agriculture.

Depuis 1857, le bassin de la Seine éprouve des sécheresses telles qu'on n'en avait jamais vues de mémoire d'homme et même pendant les deux derniers siècles. Cependant si

l'on compare la quantité totale de pluie tombée dans une année de sécheresse avec celle des années pluvieuses on est surpris de la faiblesse des différences que l'on remarque entre elles. La répartition des pluies dans le cours de l'année domine à cet égard leur quantité. D'autre part en remontant le passé, on voit les périodes de sécheresse et d'humidité se succéder d'une manière presque régulière ; l'on y trouve des inondations aussi désastreuses et des sécheresses aussi prolongées que dans le siècle où nous vivons. Quelles sont les causes de ces changements? les caprices du temps ne sont qu'une expression d'impuissance ou de dépit.

Ces causes, il ne faut point les chercher en France, elles sont ailleurs. Les vapeurs qui se résolvent en pluie sur notre sol se sont formées, pour la plupart à la surface de l'Atlantique d'où elles nous sont amenées par les vents ; et le régime des pluies est intimement lié à celui des courants de l'atmosphère.

Mais les vents sont plus inconstants encore que les pluies dans nos climats ! Eux-mêmes cependant sont soumis à des lois dont il faut trouver les formules.

Les cartes météorologiques publiées dans le *Bulletin* de l'Observatoire impérial de Paris remontent à peine à deux années, déjà elles ont acquis à la science d'importants résultats. L'instabilité des vents y trouve sa raison d'être, la règle s'introduit peu à peu dans une matière qui semblait lui être essentiellement étrangère.

Il n'est pas de jour, en effet, où l'on ne voie, sur ces cartes quotidiennes, passer à des latitudes variables de l'Europe un mouvement particulier de l'atmosphère désigné géné-

ralement du nom de bourrasque faute d'une expression mieux appropriée à sa nature. Ce phénomène présente en lui-même des caractères d'une constance remarquable ; sa trajectoire varie seule à la surface de l'Europe. Partout où il passe, il soulève le vent et amène les pluies ou les orages. Dans la concavité de l'orbe qu'il décrit règnent le calme et le beau temps. Son centre est marqué par une baisse plus ou moins forte du baromètre, tandis que la pression de l'air est surélevée sur son pourtour. L'air y est animé d'un mouvement de rotation sur lui-même, plus ou moins rapide, mais invariablement dirigé dans le même sens. Quand rien ne vient la troubler, sa marche au travers de l'Europe est assez régulière, pour que, l'existence du météore étant constatée en un point, on puisse marquer assez exactement à l'avance les étapes par lesquelles il passera les jours suivants; mais quelquefois plusieurs d'entre eux se suivent d'assez près pour s'influencer l'un l'autre et se rejeter mutuellement hors de leur voie régulière. Ils nous viennent constamment de l'Atlantique, abordant les côtes ouest de l'Europe en des points variables depuis le Portugal jusqu'aux parties les plus septentrionales de la Norwége. L'influence du météore le précède généralement d'assez loin pour que son approche soit pressentie à l'avance et que les populations intéressées puissent être averties de son arrivée probable. Son ampleur et son énergie varient suivant les saisons ; pendant l'automne et l'hiver, il produit les tempêtes si fréquemment funestes à nos marins; au printemps, il amène les giboulées; dans l'été, il engendre les orages.

Ce mouvement tournant de l'atmosphère n'est pas un produit exclusif de nos climats ; on le rencontre sur toutes les mers. Il produit en particulier d'affreux ravages à la surface de l'océan Indien où il est désigné sous le nom de *cyclone* par les navigateurs qui en ont étudié la nature et la marche. Des cyclones traversent également l'Atlantique nord, et on en rencontre encore sur les mers de l'hémisphère sud. Dans ce dernier cas, le sens de la rotation est opposé à celle des cyclones de l'hémisphère nord. Cette opposition dans les mouvements observés à la surface des deux hémisphères jointe à la constance du sens de rotation dans chacun de ceux-ci, montre que le phénomène se rattache à une cause générale dans laquelle interviennent la forme de la terre et son mouvement de rotation sur elle-même.

Les cyclones sont généralement isolés et heureusement peu nombreux. Les mouvements tournants de nos climats, bien qu'ils semblent produits par des influences du même ordre, se succèdent, au contraire, presque sans interruption à quelques jours d'intervalle et forment quelquefois comme un double chapelet à la surface de l'Europe. Le calme et le beau temps n'existent donc jamais sur toute son étendue ; on y rencontre toujours une bande plus ou moins large, quelquefois deux, où les pluies, les orages ou les grains viennent troubler l'atmosphère. En dehors de ces régions agitées de l'atmosphère, le ciel est généralement beau et l'air calme; mais, dans leurs oscillations, elles couvrent successivement toutes les contrées de l'Europe et du nord de l'Afrique. La répartition des pluies sur la France, la

diversité de ses années sèches et humides et tous les accidents de son climat sont donc liés aux déplacements des lignes de parcours des bourrasques.

L'étude des bourrasques, avec tout leur cortége de phénomènes concomitants, forme actuellement le principal objet de la météorologie envisagée sous le double point de vue théorique et pratique. Elle est la base essentielle du système de prévisions inaugurées depuis quelques années à l'Observatoire impérial de Paris.

Où se forment les bourrasques? Au milieu de quelles conditions atmosphériques prennent-elles naissance? Quelles influences modifient leur parcours? A quels signes peut-on reconnaître leur approche et prévoir les régions menacées par elles? Quel profit peut-on tirer en chaque lieu de la connaissance de leurs lois pour l'interprétation des données fournies par l'observation du ciel et des instruments météorologiques? Telles sont les principales questions à résoudre. Si le sujet est vaste et difficile en raison de sa nature et du nombre considérable de matériaux dont il exige la réunion, son importance a été généralement comprise et il réunit autour de lui un concours de volontés et d'efforts jusqu'alors sans précédent dans la science.

LES MOUVEMENTS
DE L'ATMOSPHERE
ET LES VARIATIONS DU TEMPS

CHAPITRE PREMIER

CHAMP D'ÉTUDES

---

§ 1er — Son étendue.

Il est des régions du globe où le ciel est toujours pur, la température uniforme et le vent régulier dans ses allures. Ces conditions sont rares à la surface des continents et ne s'y produisent d'ordinaire qu'aux dépens de la richesse du sol. Partout les plantes ont besoin d'eau pour vivre, et le ciel dispense les pluies d'une manière intermittente, au milieu de troubles et d'agitations plus ou moins prolongés de l'atmosphère. L'homme lui-même gagne à être tenu en éveil par les variations du temps ; son activité physique et morale s'accroît dans une lutte renfermée dans de justes limites contre les intempéries des saisons ; et les régions où la civilisation a pu attein-

dre au plus haut degré se distinguent par la mobilité de leur ciel.

Cette mobilité, jointe à notre désir de connaître ce qui nous attend au lendemain de chaque jour, donne un grand attrait aux prévisions du temps de quelque source qu'elles émanent.

Au milieu des préoccupations de la vie des grandes cités, l'interprétation des signes présentés par l'état du ciel ne peut guère être apprise; et, sauf les cas où la sensibilité se trouve exagérée en nous, soit par l'effet de maladies prolongées, soit par quelque trouble de nos organes, les variations du temps nous échappent d'ordinaire jusqu'au moment où leurs conséquences dernières nous atteignent. Il n'en était pas ainsi chez les peuples primitifs où la vie se passait au grand air; et l'on trouve dans les traditions les plus reculées des preuves de l'habileté avec laquelle ils savaient prévoir l'arrivée prochaine de quelques-unes des grandes perturbations atmosphériques. Malheureusement ces traditions ont généralement été voilées par des formules ou des pratiques destinées à assurer l'influence des initiés sur la foule.

Les peuples pasteurs, les populations agricoles et surtout les hommes de la mer montrent fréquemment une remarquable aptitude à lire dans le ciel les menaces du mauvais temps ou les signes de sa disparition prochaine. Cette aptitude, développée par une longue expérience, est très-loin cependant de suffire à nous mettre en garde contre les météores les plus redoutés. Ainsi que les facultés instinctives, elle n'a conduit dans les temps passés qu'à une science personnelle, d'une transmission difficile, et chaque génération chargée de son propre enseignement fournissait peu d'éléments aux générations suivantes. Pour que la météorologie entrât dans une voie de progrès continus, il fallait que la science moderne lui apportât ses ressources, ses méthodes d'observation patiente et rigoureuse, ses formes didactiques propres à la diffusion des connaissances

acquises et par lesquelles les générations se succèdent dans la science comme les jours dans la vie d'un homme, chacune d'elles transmettant aux autres toute sa part de savoir.

Et cependant, malgré la marche rapide imprimée à toutes les branches de nos connaissances, la météorologie est restée longtemps noyée dans des faits sans liens entre eux, impuissante à rien expliquer ni prévoir en dehors d'une pratique individuelle. C'est qu'elle se trouvait aux prises avec des difficultés d'un ordre tout spécial.

Dans la plupart des sciences, le savant recueille ou prépare lui-même les matériaux de son travail; il peut souvent même varier à son gré les circonstances au milieu desquelles se produisent les phénomènes qu'il étudie et il arrive promptement à découvrir leurs lois. Le chimiste et le physicien *expérimentent* ainsi la nature dans les conditions fixées par eux; le naturaliste, quand il *observe* simplement des faits dont il n'est pas maître, peut du moins transporter dans son cabinet l'objet de son étude et l'examiner à loisir. Le météorologiste est simple spectateur de phénomènes passagers dont il ne restera bientôt plus nulle trace; il doit être là où le phénomène se produit, et ce phénomène embrasse à la fois ou successivement d'énormes étendues de la surface terrestre en variant ses caractères suivant les régions.

Tous les faits compris dans le domaine des sciences physiques sont dus à l'intervention de causes peu nombreuses, et l'on peut alors, sans de trop grands efforts, attribuer à chacune d'elles sa part d'action. Les conditions au milieu desquelles se produisent les phénomènes de l'atmosphère et dont ceux-ci dépendent sont au contraire assez multipliées, assez variables dans leurs combinaisons et leurs degrés d'importance pour que l'on désespère souvent de parvenir à résumer leurs rapports et leurs conséquences dans des formules propres à déduire d'un état atmosphérique donné ses modifications ultérieures.

Il est une autre difficulté plus sérieuse encore. Tout se tient et s'enchaîne dans l'atmosphère. Nul de ses changements n'a sa raison d'être au lieu seul où il se produit. L'observateur ne peut donc embrasser l'ensemble des causes concourant à l'effet dont il est témoin, ou dont il cherche à prévoir le retour. Prenez la première ou la dernière ligne des pages d'un livre et, sans l'avoir lu, cherchez à le reconstruire avec ces documents incomplets! Nous rencontrons en France des exemples de tous les phénomènes météorologiques de l'univers. Chacun d'eux est la première ou la dernière ligne d'une page du livre de la nature. Si nous ne lisons pas les lignes intermédiaires nous chercherions en vain la pensée de l'ouvrage. Nul de nous n'y lit couramment. En raison des lacunes, des passages entiers nous échappent; mais beaucoup déjà ont été compris et nous aideront à comprendre les autres quand les lacunes auront été comblées.

Le champ des études météorologiques est vaste comme la surface du globe; aucun de ses points ne doit être mis en oubli; chacun d'eux se rattache aux autres par des liens intimes et contribue à compléter leur histoire. Ce fait capital est aujourd'hui nettement acquis à la science et constitue à lui seul une de ses plus précieuses conquêtes, parce qu'il éclaire sa marche d'une lumière toute nouvelle.

Si l'on considère que l'eau recouvre près des trois quarts de de la superficie du globe et que, de l'autre quart, une énorme proportion nous est peu ou point connue, on s'étonnera moins de l'imperfection dans laquelle est restée la météorologie jusqu'au commencement de ce siècle où les études générales ont été inaugurées avec un grand éclat. En embrassant au contraire les faits acquis depuis cette époque, on peut juger de l'efficacité de la voie nouvelle où est entrée la science du temps et de l'importance des résultats qu'on est en droit d'en attendre.

Les progrès de la météorologie sont dans une étroite dépendance du nombre de ses adeptes; aucune science n'en exige

autant. Il lui faut des observateurs en foule répartis à la surface du globe, sur terre et sur mer. Nulle part l'union des efforts n'est aussi indispensable, mais en même temps plus féconde. Il faut aussi que les observations de toute nature soient discutées et reliées dans un travail d'ensemble ; mais tout en servant ainsi à constituer la science générale, elles en retirent leur importance individuelle et locale.

Les observations faites à la surface des mers par les navigateurs ont été longtemps perdues sans profit pour la science et la navigation. Réunies entre les mains de Maury, elles ont conduit en quelques années à la connaissance de la circulation générale de l'atmosphère et des mers. En même temps elles ont permis de diminuer d'un quart et quelquefois d'un tiers ou de moitié la durée des grandes traversées, et de réaliser annuellement une économie de plusieurs dizaines de millions dans le prix des transports maritimes.

Les observations continentales de leur côté, tant qu'elles sont restées isolées, ont fourni d'utiles indications sur les conditions climatériques des lieux où elles ont été entreprises ; mais elles ne pouvaient fournir la raison de ces conditions non plus que les lois de succession des phénomènes observés. Elles se sont éclairées mutuellement par le simple effet de leur rapprochement dans une étude générale. Leur concentration dans un même lieu a de plus permis d'établir un système de prévision du temps qui, appliqué à la marine, a déjà pu éviter plus d'un naufrage et sauver plus d'une existence. La réunion des observations maritimes et continentales permettra d'aller plus loin et le temps n'est sans doute pas éloigné où l'agriculture profitera directement elle-même de tous ces travaux.

L'expérience des dernières années a porté ses fruits ; les premières difficultés sont vaincues ; les observatoires des principales nations s'unissent d'une manière de plus en plus intime à l'Observatoire impérial de Paris dans l'œuvre devenue com-

mune à tous, et pour assurer le succès par une division du travail devenue nécessaire, les observatoires de Paris, de Londres et de Washington se sont partagés entre eux la surface de l'hémisphère nord de la terre, en se conformant au plan adopté à Paris, afin que leurs travaux, auxquels concourent toutes les marines et tous les observateurs du globe, puissent aisément se fondre en un travail commun.

L'avenir de la science est donc assuré, et sa marche sera de plus en plus rapide. Il faut pour cela que les observations continuent et se multiplient, que les marins et les cultivateurs, particulièrement intéressés à la solution des questions agitées, y concourent avec zèle et persévérance, sans se préoccuper si certaines observations sont susceptibles de donner des résultats pratiques immédiats. En météorologie surtout rien n'est perdu, et bien des recherches qui semblaient d'abord de pure curiosité ont conduit à d'importantes conséquences.

Dans cette immense quantité de documents réunis de tous les points du globe, il en est sans doute quelques-uns de bien imparfaits et qui exciteraient le dédain des météorologistes amis surtout de la précision. Le principal mérite en ces matières nous paraît être de tirer le meilleur parti possible des matériaux dont on dispose, tout en regrettant que quelques-uns d'entre eux ne soient pas d'une exactitude plus rigoureuse et d'un emploi moins laborieux. On ne construit pas un grand édifice avec des pierres précieuses : elles sont trop rares; on les réserve pour compléter l'harmonie de l'ensemble par le fini des détails. Mais en utilisant autant que possible des observations même incomplètes on ne saurait trop recommander aux observateurs de ne faire usage que d'instruments dont la justesse a été reconnue.

§ II. — Origine de la météorologie moderne.

Le mouvement météorologique dont nous sommes témoins a son origine dans la seconde moitié du siècle dernier. De remarquables travaux s'y étaient produits, et des observations régulières avaient été instituées en des points nombreux de l'Europe et notamment de la France. Deux notes renfermées dans le IIIe volume des Œuvres de Lavoisier et communiquées à l'Institut par M. Dumas, dans la séance du 8 mai 1865, montrent combien les grands esprits de cette époque avaient admirablement compris les véritables conditions de la science qu'ils voulaient fonder.

Dans une première note, Lavoisier expose que les premières observations de Borda sur la possibilité de prédire le temps l'ayant frappé par leur importance, il s'entendit avec lui pour ouvrir des conférences auxquelles prirent part de Laplace, d'Arcy, de Vandermonde, de Montigny, etc.

Il s'agissait d'établir des instruments et surtout des baromètres comparables dans un grand nombre de points de la France, de l'Europe et même de l'univers. Nombre de ces instruments furent distribués par Lavoisier, et quand on en a lu la description, il n'est pas difficile de s'assurer que quelques châteaux possédaient encore, il y a peu d'années, des instruments donnés par lui, à cette occasion.

Lavoisier reproduit dans une seconde note les règles pour prédire le temps, et il conclut en ces termes : « La prédiction « des changements qui doivent arriver au temps est un art qui « a ses principes et ses règles, qui exige une grande expérience « et l'attention d'un physicien très-exercé. Les données néces- « saires pour cet art sont : l'observation habituelle et journa-

« lière des variations de la hauteur du mercure dans le baro-
« mètre, la force et la direction des vents à différentes éléva-
« tions, l'état hygrométrique de l'air...

« Avec toutes ces données, il est presque toujours possible de « prévoir un jour ou deux à l'avance, avec une très-grande « probabilité, le temps qu'il doit faire; on pense même qu'il ne « serait pas impossible de publier tous les matins un journal de « prédictions qui serait d'une grande utilité pour la société. »

Dans la pensée de Lavoisier, ces prédictions devaient embrasser les transports d'air qui se font continuellement dans un sens ou dans un autre et auxquels on donne le nom de *vent*.

A l'époque où Lavoisier procédait à son organisation et rédigeait ces deux notes, il ne pouvait user d'aucun des moyens de communication rapide mis à notre disposition. Ses idées cependant avaient assez frappé l'opinion publique pour que, quelques années après, en 1793, Romme, député à la Constituante, et chargé de présenter à cette assemblée, au nom des comités réunis de l'instruction publique et de la guerre, un rapport sur le télégraphe aérien imaginé par Chappe, n'oubliât pas de mentionner au nombre des avantages présentés par la nouvelle invention la possibilité où elle mettrait les physiciens de prévoir l'arrivée des tempêtes et d'en donner avis aux ports ou aux cultivateurs.

Lavoisier fut emporté par la tourmente révolutionnaire, et ses projets tombèrent dans l'oubli; mais l'idée, éminemment française, émise par lui, devait être reprise par la France dans des conditions propres à en assurer le succès.

Les dernières années du dix-huitième siècle et le commencement du dix-neuvième furent peu favorables aux études météorologiques dans notre pays. Elles continuèrent cependant, particulièrement en Allemagne, où les travaux de Humboldt les maintinrent en faveur. Dové, de Berlin, le doyen des météorologistes actuels, et Kaemtz, de Dorpat, réunirent avec persévé-

rance les documents épars sur tous les points du globe, et purent jeter les premières bases de la météorologie générale.

Maury vint donner à ces études une nouvelle et vigoureuse impulsion. En 1831, doublant le cap Horn sur le *Falmouth*, dans le grade de simple aspirant de marine, il fut frappé par les curieux phénomènes barométriques de ces parages et en fit l'objet d'un intéressant mémoire publié dans le XXVI° volume de l'*American Journal of Arts and Sciences*. Depuis cette époque il ne discontinua pas ses travaux, se préparant à la grande entreprise qui devait le placer aux premiers rangs des météorologistes.

Au milieu des nombreux perfectionnements maritimes qui ont signalé le dix-neuvième siècle, une question du plus haut intérêt était restée singulièrement en retard : celle des routes. Les grands navigateurs des siècles précédents semblaient avoir tracé les seules voies à suivre, sans que l'on songeât à y introduire les modifications auxquelles eût pu conduire l'étude comparative des données de l'expérience. Mais lorsque l'application de la vapeur aux moyens de transport eût montré les avantages des échanges rapides entre les nations et mieux fait comprendre la valeur du temps, l'attention se porta naturellement vers la discussion des meilleures routes et vers les moyens de les fixer rationnellement. Un navire à vapeur négligeant les vents, peut tracer sur la sphère la ligne la plus directe et la plus courte entre son point de départ et son point d'arrivée; mais pour le navire à voile soumis aux courants aériens qui constituent ses seuls moyens de progression, la ligne la plus courte en étendue devient souvent la plus longue à parcourir. Trouver la plus grande somme possible de vents favorables sans trop s'écarter de la route la plus directe, est le moyen le plus sûr de donner à la traversée son minimum de durée. Pour y parvenir, il fallait nécessairement connaître, pour tous les poins de l'Océan situés dans les régions à parcourir, les proportions probables de vents

favorables et contraires, afin d'éviter les seconds et de rechercher les premiers. Aucune expérience individuelle ne pouvait prétendre à une telle universalité.

De temps immémorial, les observations météorologiques recueillies par un navire pendant sa traversée et consignées sur son livre de bord, se trouvaient dispersées après le retour. Maury eut l'idée aussi simple que féconde de coordonner ces observations éparses et par ce seul fait inutiles, de leur rendre ainsi la valeur qui leur appartient dans l'ensemble, et de conclure de là une méthode rationnelle pour réduire chaque traversée à sa durée minimum.

Pour mettre ce projet à exécution, le concours d'un grand nombre de navigateurs était indispensable; et pour l'obtenir, il fallait prouver à tous le parti qu'on pouvait tirer d'observations dédaignées jusqu'alors. Une première démarche faite en 1842 par Maury auprès du gouvernement des États-Unis eut pour effet une circulaire adressée par le commodore Crane aux capitaines américains, afin d'obtenir d'eux la communication des documents nécessaires à la construction des cartes de vents et de courants marins. Ce premier appel resta sans réponse. Loin de se décourager, Maury se mit à réunir les journaux, en nombre malheureusement trop restreint, de la marine militaire des États-Unis; et pour éveiller l'attention publique par un résultat capable de faire sentir toute l'importance pratique des études nouvelles, il concentra tous ses efforts sur une seule traversée, celle des États-Unis à Rio-Janeiro. Les données qu'il put réunir lui permirent de déterminer une route singulièrement plus courte et plus avantageuse que celle suivie jusqu'alors par la masse des navigateurs. Le navire *Wright*, capitaine Jackson, de Baltimore, fut le premier à suivre les indications de Maury. Parti le 9 février 1848 de Baltimore, ce navire coupait la ligne équatoriale au bout de 24 jours, tandis que cette traversée en exigeait d'ordinaire 41.

Dans un pays comme l'Amérique, un résultat aussi remarquable suffisait à fonder l'œuvre de Maury. D'autres résultats de même nature suivirent promptement le premier, et le concours de la presque totalité de la marine des États-Unis fut bientôt acquis à l'éminent météorologiste.

Maury cependant rêvait pour son œuvre une extension beaucoup plus vaste; elle lui semblait avec raison avoir un caractère essentiellement universel. Il conçut le projet d'entraîner toutes les nations maritimes dans la voie des recherches inaugurées avec tant de succès par lui, et, sur l'invitation du gouvernement des États-Unis, un congrès international se réunit à Bruxelles en août 1853. Ce congrès composé des délégués de tous les principaux États de l'Europe et de l'Amérique, arrêta un plan uniforme d'observations nautiques, et Maury put asseoir définitivement son œuvre sur les larges bases qu'il avait adoptées. Les matériaux lui arrivèrent en foule, ses cartes se complétèrent avec rapidité et se répandirent à profusion parmi les marins.

Plusieurs nations maritimes eurent à cœur de s'associer d'une manière plus directe à ces travaux en discutant elles-mêmes les observations recueillies dans les parages plus habituellement fréquentés par leurs navires. Le contre-amiral Fitz-Roy, en Angleterre; en Hollande, M. Buys-Ballot, directeur de l'observatoire d'Utrecht, et les lieutenants Jansen, Van Gough, Andrau; en Portugal, M. Brito Capello, directeur du bureau météorologique de Lisbonne; en France, M. le vice-amiral de Chabannes, le lieutenant de vaisseau Le Helloco et les officiers chargés successivement du service météorologique au dépôt de de la marine, ont tous apporté un large contingent à cette œuvre qui, sans être négligée au dépôt de la marine, forme actuellement une des attributions de l'Observatoire impérial de Paris.

Avant d'entrer dans l'exposé des résultats de ces divers travaux, nous résumerons pour nos lecteurs l'organisation fondée

par la conférence de Bruxelles et celles qui se sont développées ultérieurement en Europe. Les renseignements suivants sur la conférence de Bruxelles sont tirés des *Instructions nautiques* de Maury et de la *Météorologie nautique*, de M. Charles Ploix, ingénieur hydrographe de la marine.

§ III. — Conférence de Bruxelles. — Programme d'observations.

La conférence de Bruxelles[1], présidée par M. Quetelet, directeur de l'observatoire belge, avait pour but, dit le rapport fait par ses membres, d'établir un système d'observations météorologiques à la mer et de concourir à l'observation des vents et des courants de l'océan, à l'effet d'être utile à la navigation et de

[1] Voici les noms des gouvernements représentés à la conférence et des officiers qui y ont assisté :

La Belgique.. . . .	Par A. Quetelet, directeur de l'observatoire royal ; et par Victor Lahure, capitaine de vaisseau, directeur général de la marine.
Le Danemark. . . .	Par R. Rothe, capitaine lieutenant de la marine royale, directeur du dépôt des cartes de la marine.
Les États-Unis. . .	Par M. F. Maury, lieutenant de la marine des États-Unis, directeur de l'observatoire de Washington.
La France. . . .	Par A. Delamarche, ingénieur hydrographe de la marine impériale.
La Grande-Bretagne.	Par F. W. Beechey, capitaine de la marine royale, membre de la section navale du *Board of trade;* et par Henri James, capitaine au corps royal du génie.
La Norwége.. . . .	Par Nils Ihlen, lieutenant de la marine royale.
Les Pays-Bas. . . .	Par M. H. Jansen, lieutenant de la marine royale.
Le Portugal. . . .	Par J. de Mattos Corrêa, capitaine lieutenant de la marine royale.
La Russie..	Par Alexis Gorkovenko, capitaine lieutenant de la marine impériale.
La Suède..	Par Carl Anton Pettersox, premier lieutenant de la marine royale.

D'autres nations, telles que l'Espagne et l'Italie, s'adjoignirent ultérieurement aux précédentes en adoptant le programme de la conférence.

donner une connaissance plus exacte des lois qui régissent ces éléments. En conséquence, elle discuta successivement la nature des observations à faire, les moments favorables pour observer, les instruments à employer; elle détermina le modèle du journal météorologique destiné à recevoir les observations faites à bord de tous les navires, et rédigea, pour être imprimées en tête du journal, des instructions sur le mode d'observation et d'enregistrement des résultats.

A la suite de la conférence, le ministre de la marine décida que tous les navires de guerre français concourraient aux observations, et que les capitaines des navires marchands seraient invités à coopérer à cette œuvre internationale. Le service météorologique français fut centralisé au dépôt de la marine. Les marines des diverses nations représentées à la conférence adoptèrent une mesure semblable.

Deux types de journaux furent imprimés : l'un destiné à la marine militaire; l'autre, moins complet, destiné à la marine marchande. Ce journal est délivré à titre gratuit, avec les cartes des vents publiées par le dépôt de la marine, à tous les capitaines ayant à bord un baromètre à mercure et un thermomètre et qui s'engagent à faire des observations.

Pour donner une idée de l'étendue du travail ainsi organisé, nous reproduisons ici, page 34, les têtes de colonne du journal de la marine militaire. Les exigences de notre format nous ont obligé à resserrer ces colonnes dans un étroit espace; elles ont toute la largeur nécessaire pour l'inscription des données qu'elles doivent contenir.

Quelques pages précèdent le journal proprement dit. La première doit recevoir le nom du navire, sa nature, sa force, le nom du capitaine, et dans un tableau disposé à cet effet les différentes relâches pendant la campagne et leur date. La seconde est consacrée à des vérifications de la boussole du navire. La troisième contient la nomenclature des vents par Beaufort et la

Tableau destiné à l'enregistrement des observations météorologiques de la marine militaire française.

Année 18		Latitude		Longitude		Courants		Variation observée et cap du navire	Vents		Baromètre N°			Thermomètre		Degré d'humidité	Forme et direction des nuages	Degré de sérénité du ciel	Temps — brouillard, pluie, neige, grêle	État de la mer	Eau de mer		Remarques
Mois, jours et date lunaire	Heures	Observée	Estimée	Observée	Estimée	Direction	Vitesse		Direction	Force	Hauteur observée	Thermomètre attaché	Réduit à zéro	Sec	Mouillé						Température à la surface	Densité	
																							Chaque journal renferme 200 journées de navigation.

nomenclature des nuages par Howard. La quatrième est destinée à la description des instruments mis en usage et à l'exposé des procédés suivis pour les observations : ces renseignements sont nécessaires pour apprécier le degré de confiance que l'on peut accorder aux documents consignés dans le journal. Une cinquième page est consacrée à la comparaison des instruments du bord avec les instruments étalons des ports de départ et d'arrivée : dans les ports militaires cette comparaison est faite par les officiers préposés aux observatoires ; dans les ports de commerce par les professeurs d'hydrographie. Viennent ensuite les instructions sur la manière de tenir le journal.

Parmi les observations réclamées par la conférence de Bruxelles, il en est qui sont spéciales à la mer : telles sont les déterminations de longitude et de latitude du lieu occupé par le navire; l'observation des courants marins ; la variation du compas, ou l'angle que fait la boussole avec le méridien ; l'état de la mer, sa température et sa densité. Les autres sont la reproduction des observations ordinaires faites à terre.

La colonne des remarques reçoit tout ce que le capitaine juge utile de signaler. Son attention est appelée particulièrement sur les points suivants :

Tempêtes, tornados, tourbillons de vent, typhons et ouragans. Il doit en indiquer, dans les plus grands détails, toutes les circonstances ; particulièrement les différentes variations du vent, la durée, l'amplitude et la force de ses oscillations de courte période, c'est-à-dire le nombre de bouffées ou de rafales dans un temps donné ; les directions ou rhumbs extrêmes entre lesquels le vent varie périodiquement ; les variations correspondantes de la force du sifflement du vent ; les différentes apparences du ciel, des nuages, de la mer ; les phénomènes électriques, la pluie, la grêle, etc. Pendant la durée de ces perturbations, il importe d'observer fréquemment le baromètre et de noter l'heure où il a atteint son point le plus bas.

Les *trombes* sont assez fréquentes en mer; on doit observer leur durée, leurs apparences successives, leur mouvement giratoire et de translation, la manière dont elles ont disparu.

La *pluie* et sa température; la *rosée*, son abondance, l'heure où elle commence, celle où elle finit, la température correspondante de l'air; les *brouillards* ou *brumes;* les *brouillards rouges* ou *pluies de poussière*, fréquents dans certains parages; le *tonnerre*, la *grêle*, les *éclairs*, et en cas de grêle, la grosseur et la forme des grêlons; les *météores* proprement dits, étoiles filantes, halos... Les *aurores boréales*, etc., sont l'objet d'observations détaillées, ainsi que la hauteur et la vitesse des *lames* ou vagues de la mer, les courants et remous de courants, les changements dans la couleur de l'eau, l'apparence lumineuse de certaines mers. On recommande aussi aux navigateurs de faire, chaque fois qu'ils le peuvent, des sondages aux grandes profondeurs et d'observer les courants sous-marins toutes les fois que les circonstances le permettent.

L'apparition des glaces flottantes, leur aspect, leur volume, la direction dans laquelle elles sont entraînées; l'apparition des poissons, oiseaux, insectes, algues marines, bois flottants, débris, bouteilles.... tout phénomène, petit ou grand, est noté avec soin. Rien n'a été oublié par la conférence de Bruxelles, et son programme d'observations pourra suffire pendant longtemps à toutes les exigences de la science. Quel que soit l'objet spécial de ses études, le météorologiste trouvera toujours les documents qu'il désire dans les registres tenus conformément à ce programme.

§ IV. — Dépouillement des observations. — Cartes statistiques.

Le dépouillement, la discussion et l'emploi rationnel d'un nombre aussi considérable de documents exigent beaucoup de temps et l'application de procédés méthodiques. Un service météorologique bien organisé doit être pourvu de registres et de cartes disposés pour le classement des observations de toute nature qu'on extraira des journaux de bord ; ce classement ne doit pas être arbitraire et les cartes destinées à mettre en relief les résultats obtenus doivent être dressées en vue spéciale de l'objet qu'on veut atteindre.

Maury, dans son travail, se proposait, avant tout, de rechercher la moyenne des conditions favorables ou défavorables à la navigation dans chaque région des mers, afin d'en déduire les routes les plus favorables à une navigation rapide ; et, en réalité, il est parvenu ainsi à abréger d'une manière très-notable la durée des grandes traversées. Son travail, au début, a donc été surtout un travail de statistique. Voici un exemple de sa manière d'opérer, qui, à quelques modifications près, a été adoptée par les marins des autres pays.

Les cartes marines étant dressées suivant le mode de projection de Mercator dans lequel les méridiens et les parallèles sont représentés par des lignes droites perpendiculaires entre elles, Maury divisa ses cartes en rectangles limités par des méridiens distants de 5 en 5 degrés à partir d'un méridien fixe, et par des parallèles également distants de 5 en 5 degrés à partir de l'équateur. Ces rectangles ont été numérotés, et à chacun d'eux correspondent une série de tableaux dont chacun est destiné à un élément météorologique distinct : nous supposerons qu'il s'agisse du vent. La fig. 1 (p. 38) donne un spéci-

men du tableau correspondant à l'un des rectangles de la carte. Ce tableau est divisé verticalement en treize bandes parallèles dont douze sont consacrées aux douze mois de l'année ; dix-

	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Octo.	Nov.
Nord												
NNE.												
NE.												
ENE.												
Est												
ESE.												
SE.												
SSE.												
Sud												
SSO.												
SO												
OSO.												
Ouest												
ONO.												
NO.												
NNO.												
Calmes												

Fig. 1. — Carte de dépouillement des vents de 5° de latitude nord à 10° de latitude nord de 110° longitude est à 115° de longitude est (comptées de Greenwich).

sept bandes horizontales sont consacrées : seize aux directions principales du vent, et la dix-septième aux calmes. Tous les tableaux semblables correspondant aux divers rectangles d'un océan sont classés dans un ordre déterminé.

On prend un à un les journaux de bord dont on dispose, et chaque direction de vent qu'on rencontre en le parcourant d'un bout à l'autre est inscrite dans le tableau correspondant

au rectangle dans lequel l'observation a été faite, dans la colonne du mois d'observation, et dans la case correspondante à la direction du vent observé. L'inscription se fait simplement au moyen d'un petit trait vertical, et, pour faciliter le comptage final, quand quatre traits ont été placés à côté l'un de l'autre et qu'en survient un cinquième, on met ce dernier en diagonale sur les quatre autres. La fig. 1 représente un des tableaux de la mer des Indes avec les relevés qui y ont été inscrits; on y voit déjà très-bien comment, dans cette région, la direction du vent varie avec les saisons: le vent du N. E. y domine nettement d'octobre en avril; de mai en septembre, c'est au contraire le vent du S. O. qui y souffle le plus fréquemment. Ce genre de pointé ne comprend que la direction du vent sans s'occuper de sa force, mais on peut imaginer aisément les modifications à y apporter suivant le but qu'on se propose d'atteindre; il est évident aussi que le même procédé peut s'appliquer également bien aux observations faites dans une station météorologique du continent.

Une fois le dépouillement de tous les journaux achevé, on fait le total des pointés marqués dans chacune des cases de chaque tableau et on écrit le chiffre à sa place dans une dernière série de tableaux. Quelle que soit l'application qu'on en fasse, ces derniers tableaux doivent être conservés et publiés avec leur date et leur lieu d'origine. Chaque nation, en effet, doit tenir à honneur de faire dresser chez elle le relevé des observations faites sur ses bâtiments; les administrations maritimes aiment peu à s'en désaisir au profit d'établissements étrangers, et en faire une copie prendrait presque autant de temps que le pointage. Chaque nation peut donc, chaque année, ajouter sa série à celles des autres pays ou à celles des années antérieures, et les officiers qui s'adonnent aux études météorologiques peuvent, en ajoutant ces tableaux les uns aux autres, opérer sur des documents statistiques chaque année plus complets.

Pour faire passer dans la pratique les résultats donnés par ses tableaux, Maury eut recours au procédé suivant : dans chacun des rectangles de la carte d'un des océans étudiés par lui il traça un cercle divisé en seize secteurs correspondant aux seize rhumbs de vents ; chacun de ces secteurs fut lui-même partagé en quatre compartiments correspondant aux quatre saisons de l'année. Dans chacun de ces compartiments il inscrivit le nombre total des vents relevés dans ses pointages, en tenant compte de la saison, de la direction du vent et du rectangle de la mer où l'observation avait été faite. Ces cartes chiffrées ne sont pas d'un usage très-commode; il faut une grande habitude pour y lire un peu couramment. En France, en Angleterre, en Hollande, on les a traduites sous une forme plus compréhensible, celle d'un diagramme. La fig. 2 (p. 41) représente un de ces diagrammes emprunté à une des premières cartes françaises.

Prenant isolément chaque rectangle des cartes de Maury ou chaque tableau correspondant, on a fait la somme de tous les vents qui y sont inscrits, en y comprenant les calmes. Puis, on a divisé par ce total le nombre de fois que le vent du S. O., par exemple, s'y trouve marqué, ce qui donne la fréquence relative de ce vent. On a opéré de même pour tous les autres.

Ce travail préliminaire achevé, on a tracé au centre de chaque rectangle des mers un cercle d'un diamètre constant; autour de ce cercle on a marqué les seize directions principales du vent et, sur chaque direction, on a porté, à partir de la circonférence du cercle, une longueur proportionnelle à la fréquence relative du vent dans cette direction. Ces lignes sont tirées *sous le vent*, dans la direction qu'il donne aux girouettes, c'est-à-dire celle où il va et non celle d'où il vient. La fig. 2 indique une prédominance très-marquée des vents du N. E. et du N. N. E. sur toute autre direction : elle appartient à la région des alizés de l'Atlantique Nord.

Les nouvelles cartes de la marine française sont encore plus explicites; on y distingue, en effet, les uns des autres, les vents très-forts, forts, assez forts, modérés et faibles, en indiquant leur fréquence relative dans chaque direction.

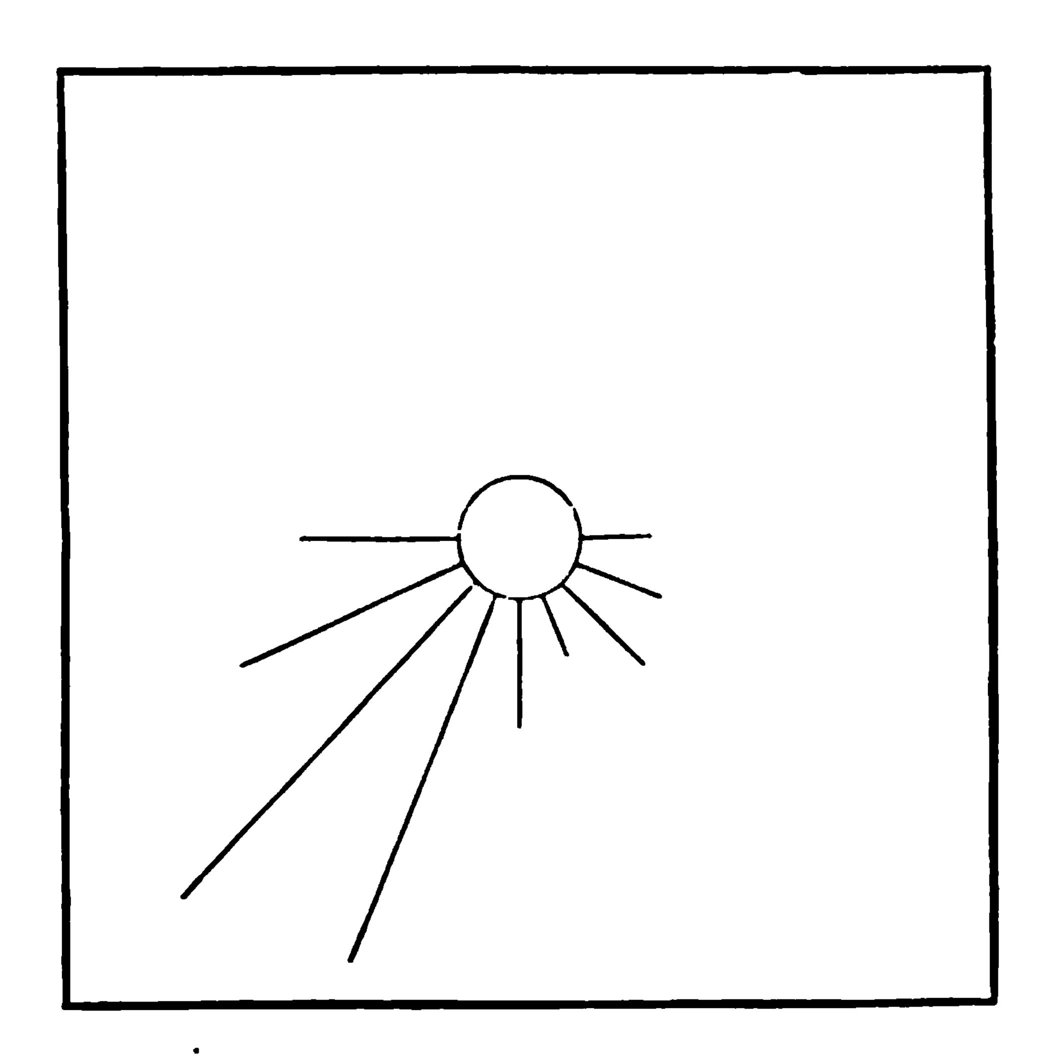


Fig. 2. — Carré de carte des vents de la marine française de 20° à 25° de latitude nord, de 20° à 25° de longitude ouest (Greenwich).
Les lignes sont tirées sous le vent qu'elles représentent.

Il est une autre manière d'opérer dont l'objet diffère essentiellement du précédent. Il s'agit, ici, non plus de connaître la direction du vent qui souffle le plus fréquemment en chaque point des mers et qu'on a le plus de chance d'y rencontrer, mais de rechercher quel est l'état du baromètre, du ciel et des vents, à un même moment, sur toute la surface du globe, et par quelles transformations cette situation passe d'un jour à l'autre de l'année. La première série de recherches permet au marin de choisir, à l'avance et quel que soit l'état du temps, la route qui lui présente, en général, le plus de probabilités d'une traversée rapide; la seconde lui permettrait, d'après les

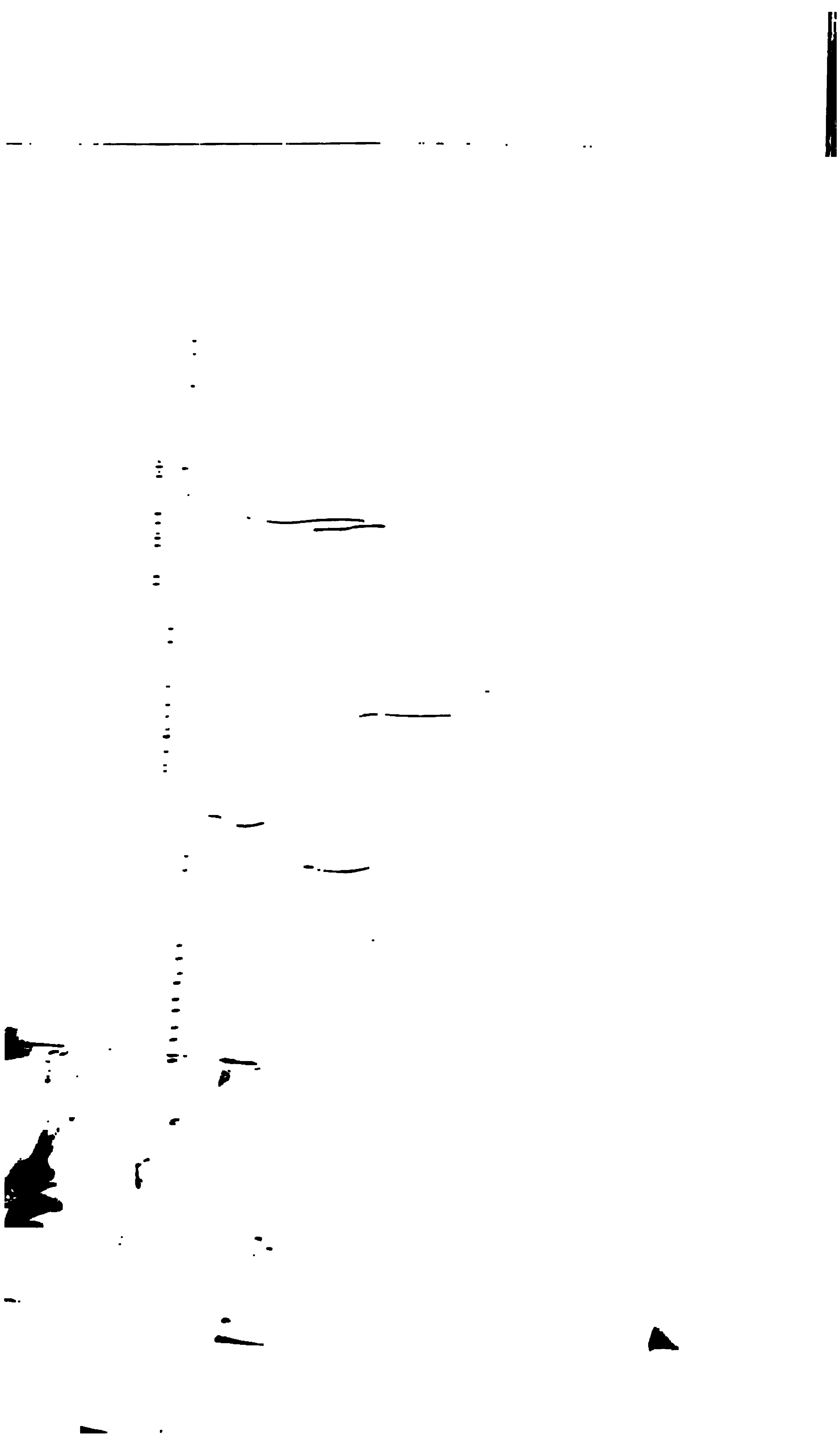
ami M. Sonrel, mort en 1870. Ce grand atlas qui promettait de si beaux résultats, continué quelque temps par M. Baille, a été abandonné en France; il a été repris partiellement par M. Mohn, de Christiania : il est aujourd'hui continué sur une échelle plus restreinte par M. Hoffmeyer, de Copenhague.

La même méthode de discussion a été appliquée par nous à l'étude des orages en France, et, dès nos premières cartes d'orage, il fut démontré que, contrairement à l'opinion reçue, ces phénomènes n'ont rien de local; qu'ils se produisent dans des conditions déterminées faciles à préciser et qu'ils se propagent sur des étendues de plusieurs centaines de lieues en même temps que la cause à laquelle ils sont dus. Notre atlas des orages a été continué en France par M. Fron et en Norvége par M. Mohn. On trouvera plus loin de plus grands détails sur les résultats de ces travaux.

§ VI. — Routes marines.

La fixation des routes les plus favorables à la navigation était le but direct que se proposait Maury. Les résultats théoriques auxquels il est parvenu à l'aide de ses premières cartes statistiques devaient avoir leur sanction pratique pour être admis par les marins. Maury dut donc se livrer à un second travail de statistique portant cette fois sur les traversées et sur leur durée mise en regard de la route suivie.

Les traversées se classent par leur point de départ et leur point d'arrivée. On groupe ensemble les navires dont les traversées entre deux mêmes points se rapprochent le plus par la durée, en tenant compte autant que possible de leurs qualités nautiques. Les longitudes et latitudes inscrites dans les premières colonnes des registres d'observations permettent de



déterminer sur la carte les positions successives par lesquelles a passé le navire, ou de tracer sa route. La comparaison de ces routes et de leur durée montre celles qui sont les plus avantageuses. Les cartes statistiques aident d'ailleurs beaucoup dans ce choix et permettent même d'ouvrir d'autres routes à l'expérimentation.

La première étude faite par Maury avait eu pour objet la route des États-Unis à l'Équateur, route d'autant plus importante qu'elle était commune à tous les navires se rendant des États-Unis dans l'hémisphère austral, que leur destination définitive fût le Pacifique, la mer des Indes ou l'Atlantique. De 41 jours, cette traversée avait été du premier coup ramenée à 24; elle fut ensuite faite en 20 jours, puis en 18. C'est un gain de 50 pour 100.

La traversée des États-Unis en Californie exigeait en moyenne plus de 180 jours; à partir du moment où Maury en fit l'objet de ses études, elle fut ramenée d'abord à 135 jours; puis ce résultat lui-même se perfectionna si bien à son tour, qu'aujourd'hui nombre de clippers sont arrivés à un chiffre de 100 jours, et même l'un d'eux, le *Flying-Fish*, venant de New-York, a mouillé sur rade de San-Francisco le 92e jour.

Mais l'exemple le plus remarquable est fourni par la traversée d'Australie. D'Angleterre à Sydney, un navire guidé par les anciennes instructions ne mettait, naguère encore, pas moins de 125 jours : c'était la moyenne ordinaire de l'année. Le retour était d'une durée à peu près égale, en sorte que le voyage total était d'environ 250 jours. Lorsque Maury passa en Angleterre, à l'occasion du congrès de Bruxelles, il promit aux marins et aux négociants anglais, pour prix de leur concours à son entreprise, de diminuer au moins d'un mois la traversée d'Australie et d'apporter une réduction encore plus considérable à la traversée de retour : c'eût été tout simplement supprimer le quart de la distance qui sépare l'Angleterre de sa riche colonie.

Un peu plus tard, les notions sur cette route s'étant complétées, Maury signala hautement aux marins l'immense avantage qu'il y avait à faire du voyage d'Australie une véritable circumnavigation du globe, c'est-à-dire à doubler le cap de Bonne-Espérance en venant d'Europe, pour opérer ensuite son retour par le cap Horn. L'ensemble de ces deux traversées, ce tour du monde, disait-il, s'effectuerait en 130 jours, et même moins, au lieu des 250 nécessaires auparavant. La prédiction de Maury a été accomplie et même dépassée. L'économie a encore été de 50 pour 100. Ce résultat ne surprendra plus, lorsque nous aurons exposé l'ensemble des circulations de l'atmosphère et des mers, et que nous aurons montré que dans les latitudes élevées le mouvement général de l'atmosphère porte à l'est.

Évaluons en argent cette économie de temps.

Le prix du fret pour la traversée d'Australie est d'environ 1 franc par tonneau (1000 kilogrammes) et par jour. Admettons que le tonnage moyen des navires engagés sur cette ligne soit seulement de 500 tonneaux (il est en réalité d'environ 700), et ne faisons entrer en ligne de compte qu'une réduction de 30 jours sur la traversée, afin de rester au-dessous de la réalité. Il résultera de là que chaque navire aura réalisé dans son trajet une économie nette de 15,000 francs. Si nous estimons maintenant avec Maury à 1800, sans distinction de pavillon, le nombre des navires se rendant annuellement des ports de l'Atlantique nord en Australie, nous aurons à la fin de l'année pour ce commerce un bénéfice évident de 25 millions de francs.

Pour le seul commerce anglais dans les mers de l'Inde, l'économie annuelle serait de 8 à 10 millions, d'après l'évaluation du docteur Buist, dans le dernier rapport lu devant l'Association britannique. Cette économie, pour l'ensemble des marines et des diverses traversées, dépasse certainement 100 millions par année moyenne.

Plus la distance à parcourir est grande, plus il y a d'avantages à s'écarter de la ligne directe pour aller chercher des parages où les brises continues donneront au navire les plus grandes vitesses. Ainsi, d'une manière générale, si l'on veut aller avec la voile dans le sens de l'est à l'ouest, c'est dans la région intertropicale que l'on fera le plus de chemin en un temps donné. Il faudrait, au contraire, aller au delà des tropiques, au nord et au sud pour marcher vite dans le sens de l'ouest à l'est. On doit éviter surtout les régions des calmes où soufflent des brises faibles et irrégulières, ou si on est obligé de les traverser il faut autant que possible le faire dans leur plus faible largeur et perpendiculairement à leur direction. Les conditions sont différentes pour les navires à vapeur qui se rapprochent davantage du grand cercle.

Nous reproduisons, planche I, la carte des principales routes maritimes. Les cartes des vents du chapitre IV permettront de se rendre compte des inflexions présentées par ces routes.

Les routes nouvelles, malgré leurs incontestables avantages, sont basées sur des probabilités; ces probabilités elles-mêmes sont plus ou moins approchées suivant que les observations sur lesquelles elles s'appuient sont plus parfaites et plus nombreuses. « Nos prétentions, dit Maury, se bornent à offrir aux navi-
« gateurs des routes réunissant le plus grand nombre possible de
« chances avantageuses; il ne faut pas rejeter les *instructions*,
« parce qu'en les suivant on aura fait exceptionnellement une
« longue traversée. »

C'est que, dans toute traversée, il y a l'accident météorologique dont Maury et ses continuateurs n'ont pu tenir compte dans leurs statistiques.

La planche II fournit un exemple de l'influence des perturbations atmosphériques sur la durée d'un voyage au travers des mers. Les lignes pleines figurent les routes conseil-

lées aux navigateurs pour se rendre des ports de la France au Mexique et revenir au port de départ. La ligne interrompue représente la traversée effective, aller et retour, du transport *le Jura*. Nous y avons indiqué par des flèches la direction et la force du vent de chaque jour. Une flèche sans penne indique un vent très-faible; une flèche avec six pennes un vent très-fort. Le *Jura* a été dérangé de sa route par une de ces tempêtes tournantes qui parcourent fréquemment certaines régions des océans, et il a dû fuir devant elle. Nous avons représenté à part au bas de la carte, et sur une échelle agrandie, les détails de la course du navire pendant la tempête. Un bâtiment en bon état, ayant de la mer tout autour de lui, supporte facilement ces tempêtes quand elles n'ont pas une violence extraordinaire, et ces dernières sont rares dans nos latitudes. Il n'en est plus de même dans le voisinage des terres, où le manque d'espace rend les naufrages très-fréquents. Dans les circonstances les moins défavorables, les tourmentes sont une cause de fatigues et de dangers pour les marins et elles accroissent presque toujours la durée des voyages. Il est rare que dans une traversée un peu longue on ne soit pas témoin d'une perturbation atmosphérique plus ou moins grave, et dans certaines mers, particulièrement celles des Indes, elles acquièrent une indescriptible violence. Il est donc d'une extrême importance de les étudier dans leur origine, leurs causes, leur marche à la surface du globe, leurs signes précurseurs. Il faut découvrir les moyens de reconnaître l'existence du météore même au loin, et d'évaluer les points de l'océan qu'il devra traverser, afin que le marin dont la route générale est tracée, puisse à temps la modifier pour éviter les effets nuisibles de la perturbation signalée et profiter de ses côtés avantageux. D'importants résultats ont été déjà obtenus dans cette voie par Redfield, Piddington... C'est à ce point de vue que s'est placé l'Observatoire impérial dans ses études. Laissant à d'autres

CARTE DE LA TRAVERSÉE DU TRANSPORT LE JURA, Cap.e ROLLAND

de France à la Vera-Cruz et retour

4 Septembre 1862

Retour dans la Manche

Retour dans la Méditerranée

Aller

25 Janvier 1863

Détails de la Tempête
sur une échelle 5 fois plus grande

plus autorisés le soin de continuer les statistiques marines, dont l'utilité est suffisamment prouvée, et d'en tirer les conséquences techniques exigeant l'intervention des hommes du métier, nous avons tourné toute notre attention vers l'accident météorologique et ses lois. Les moyens mis en usage pour constituer peu à peu cette branche à part de la science du temps, se résument dans les cartes synoptiques de l'Observatoire. Ces cartes, nous l'avons déjà dit, se distinguent essentiellement des cartes statistiques en ce que chacune d'elles renferme tous les documents météorologiques réunis pour un même jour et une même heure du jour. Chacune d'elles est donc la représentation aussi exacte que possible de la situation du ciel et des mers à un moment donné, sur l'étendue de la surface du globe qu'elle embrasse. Les comparaisons de ces cartes entre elles permettent d'y reconnaître chaque perturbation, de la suivre dans ses phases, de constater les modifications atmosphériques qui la précèdent, l'entourent ou la suivent, et de mettre ainsi en lumière les signes indicateurs de sa formation, de son approche et de sa fin.

La seconde partie de cet ouvrage est en grande partie consacrée à l'examen des résultats fournis par ces cartes.

CHAPITRE II

L'ATMOSPHÈRE, LA TERRE ET LES MERS

§ Ier. — L'atmosphère. — Sa composition.

L'atmosphère terrestre est formée par un mélange de substances gazeuses réunies en proportions inégales, auxquelles viennent se joindre divers produits d'origine organique ou minérale.

L'oxygène et l'azote la composent en presque totalité. Sur 100 volumes d'air, on trouve en effet environ 21 volumes d'oxygène et 79 volumes d'azote. Des analyses nombreuses ont été faites sur de l'air pris en divers lieux, au sommet des plus hautes montagnes comme au fond des vallées; elles ont toutes montré les mêmes gaz réunis dans les mêmes proportions. A peine a-t-on pu constater quelques faibles différences dans des circonstances toutes spéciales et très-limitées.

L'oxygène et l'azote sont deux *gaz permanents*, c'est-à-dire que l'on n'a pas pu jusqu'à ce jour, ni par le froid ni par la compression, leur faire perdre leur forme gazeuse. Le premier, l'oxygène, est l'agent ordinaire des combustions, qu'elles aient lieu dans nos foyers ou dans l'intimité de nos organes. Le second, au contraire, est le modérateur du premier. Son nom,

azote, lui a été donné parce que, par lui-même, il ne peut entretenir la vie; mais il favorise sa durée en tempérant l'action de l'oxygène. La combustion est excessivement intense dans l'oxygène pur; la vie d'un animal y acquiert une activité fiévreuse, et notre organisme construit pour d'autres conditions s'y altère avec rapidité. Toutefois, l'azote n'est pas seulement un modérateur de l'oxygène. Il entre comme élément essentiel dans la composition de nos tissus. Divers phénomènes atmosphériques lui font contracter un premier degré de combinaison qui le prépare à l'action des plantes. Celles-ci s'en emparent alors, et, sous l'influence de la lumière et de la chaleur, elles s'en servent dans la formation de leurs tissus ou des substances qu'elles y enserrent pour l'entretien de la vie chez les animaux.

L'un et l'autre de ces gaz sont remarquables par leur excessive mobilité, par leur grande transparence pour la lumière, par leur facile dilatabilité sous l'influence de la chaleur, par leur expansibilité qui leur permet d'occuper un espace indéfiniment grand quand rien n'y fait obstacle, par l'élasticité ou force de ressort développée entre leurs particules en raison inverse de l'espace qu'elles occupent. Ces propriétés nettement tranchées sont modifiées assez profondément par celles des substances mélangées dans l'air avec l'oxygène et l'azote et en particulier par celles de la vapeur d'eau.

L'acide carbonique existe dans l'atmosphère en quantités variables suivant les temps et les lieux, mais toujours très-faibles. Ce gaz a pu être liquéfié sous une forte pression aidée d'un froid très-vif; il a pu même être congelé. Il présente alors l'aspect d'une neige légère et très-compressible, dont le contact avec la peau produit l'effet d'une brûlure : la peau est désorganisée par ce froid excessif comme par la chaleur. Aux doses minimes où il se trouve généralement dans l'air, l'acide carbonique est sans inconvénient; à des doses plus fortes, il nuit à la respiration et finit par produire l'asphyxie. Il est très-loin ce-

pendant d'être vénéneux au même degré qu'un autre gaz, l'*oxyde de carbone*, produit comme lui par la combustion du charbon, mais résultant d'une combustion incomplète. L'acide carbonique est renfermé en assez forte proportion dans l'air que nous exhalons; il forme l'un des produits principaux du travail qui s'opère dans l'intimité de nos tissus, de même qu'il prend naissance dans les foyers de nos machines. Il est repris par les plantes pour être employé aux mêmes usages que l'azote.

D'autres substances gazeuses, telles que l'oxyde de carbone, les hydrogènes carbonés, etc., se rencontrent encore dans l'atmosphère, mais leur proportion excessivement faible et leur rôle étranger à la météorologie nous dispensent de nous en occuper. Il en est de même des germes d'infusoires, des grains de pollen des fleurs ou des grains de poussière.

On y reconnaît aussi, à leurs effets, la présence de substances d'origine organique dont l'influence est désastreuse pour l'homme et les animaux : ce sont les miasmes dont nous ignorons entièrement la nature dans la plupart des cas, et que nous sommes inhabiles à saisir, soit à cause de leur proportion pondérale excessivement faible, soit à cause de l'uniformité de composition de toutes les substances organiques. Nous serons probablement encore longtemps les seuls réactifs propres à déceler leur existence, et notre unique ressource est d'étudier les circonstances générales au milieu desquelles ils se produisent ou se propagent, et de nous efforcer de changer ces conditions. Lorsque la science du globe, encore arrêtée aux détails des faits extérieurs, aura pu pénétrer dans l'intimité de leurs causes, elle pourra peut-être aborder avec plus de fruit ces problèmes si graves pour l'humanité.

§ II. — Poids et hauteur de l'atmosphère.

Aristote soupçonna le premier que l'air est pesant. Pour s'en assurer, il prit une outre, la pesa d'abord vide, puis ensuite remplie d'air : il trouva même poids. L'outre gonflée par l'air introduit déplaçait au dehors un volume d'air égal au sien; elle perdait donc en poids d'un côté ce qu'elle gagnait de l'autre[1]. Pour obtenir un résultat probant, il fallait la machine pneumatique découverte par Otto de Guéricke, et permettant de faire le vide dans un vase à parois rigides. Dans son expérience, Otto de Guéricke remplaça l'outre d'Aristote par un ballon en verre; celui-ci, déplaçant un volume constant d'air extérieur, toute variation dans le poids de son contenu pouvait être appréciée. Avant Otto de Guéricke, Torricelli avait déjà démontré indirectement la pesanteur de l'air et de l'atmosphère en découvrant le baromètre.

L'eau aspirée dans les corps de pompe les plus parfaits ne peut atteindre, sous le piston, à plus de $10^{m},33$ au-dessus du niveau extérieur. Ce fait, singulier pour une époque où l'ascension de l'eau dans les pompes était attribuée à une *horreur de la nature pour le vide*, fit supposer à Torricelli que le jeu des pompes pouvait bien être un simple résultat du poids de l'air et de la pression qu'il exerce à la surface du sol. S'il en était ainsi, en opérant sur du mercure dont la densité est treize fois et demie plus grande que celle de l'eau, la colonne soulevée devait être treize fois et demie plus courte que la colonne d'eau, le poids des deux colonnes devant être le même. L'expérience faite par

[1] D'après un principe découvert par Archimède et connu sous le nom de ce géomètre, *tout corps plongé dans un fluide, air ou eau, y semble perdre une partie de son poids égale au poids du fluide qu'il déplace.*

Torricelli lui fournit une première confirmation de son induction. D'un autre côté, en s'élevant à diverses hauteurs dans l'atmosphère, le poids de la colonne de mercure soulevée, et par conséquent la longueur de cette colonne, devait diminuer graduellement de quantités correspondantes aux couches d'air laissées au-dessous de soi. L'expérience fut exécutée sur le Puy-de-Dôme d'après les instructions de Pascal, par son beau-frère, Florin Périer ; elle fut répétée par Pascal même sur la tour Saint-Jacques, à Paris. Les résultats furent décisifs, et l'on eut dans le baromètre un moyen facile et sûr de mesurer le poids total de l'atmosphère et les variations de la pression qu'elle exerce en divers temps et en divers lieux à la surface du globe.

La hauteur du baromètre est en moyenne de 760 millimètres au-dessus du niveau des mers. La pression exercée par une semblable colonne de mercure sur une superficie de 1 mètre carré est de 10,350 kilogrammes environ. Telle est la pression moyenne de l'atmosphère par mètre carré de surface ; elle subit des oscillations continuelles dont nous aurons à déterminer l'étendue et les causes, et à donner l'interprétation.

L'air résiste à cette pression par sa force de ressort. Le corps humain n'en éprouve aucune gêne dans ses mouvements parce que les pressions s'équilibrent exactement tout autour de lui ; cependant certains phénomènes physiologiques sont modifiés en nous par les variations de la hauteur du baromètre dans le lieu où nous vivons. Le sang tient en dissolution certains gaz, tels que de l'air et de l'acide carbonique, et la dissolution est aidée par la pression extérieure. Lorsque cette pression diminue brusquement, ainsi qu'il arrive dans les ascensions aérostatiques, par exemple, une partie des gaz dissous redeviennent libres ; ils occupent une place distincte dans le sang dont le volume total semble augmenter. On observe alors une turgescence très-marquée des organes, et le sang suinte quelquefois

à la surface des muqueuses. L'air plus rare pénètre aussi en moindre abondance dans le sang par les poumons ; et la combustion vitale étant ralentie, les forces paraissent affaiblies, et le moindre mouvement vous essouffle. C'est un phénomène fréquemment observé dans les ascensions sur les montagnes élevées, et cependant, on vit sans fatigue sur les hauts plateaux du Mexique à une hauteur de plusieurs milliers de mètres au-dessus du niveau de la mer ; des batailles meurtrières y ont même été livrées, exigeant un grand déploiement d'activité physique. On compense la rareté de l'air dans ces régions élevées par la fréquence de la respiration et par l'accélération des mouvements du cœur. L'économie se fait vite à ces changements ressentis seulement pendant le court intervalle de temps où ils s'opèrent. Leur trop fréquente répétition n'est cependant pas sans inconvénient sur la santé. Quelques personnes vont même jusqu'à reconnaître une influence fâcheuse aux oscillations barométriques relativement insignifiantes observées en un même lieu. Cette erreur est due à ce que les variations du baromètre sont accompagnées de changements prononcés dans l'état général de l'atmosphère. L'influence de ces derniers sur la santé est réelle, et on se méprend quelquefois, au milieu de conditions multiples, sur celle qui nous affecte.

L'air ordinaire pris à la surface du sol pèse douze cents fois moins que le mercure. En admettant que sa densité restât la même à toute hauteur, la colonne atmosphérique dont le poids équilibre celui de 76 centimètres de mercure, serait égale à 1200 fois 76 centimètres ou à 912 mètres. La plupart des montagnes et des hauts plateaux feraient saillie au-dessus de son niveau supérieur. Mais à mesure que l'on monte, chaque couche d'air est affranchie du poids des couches laissées au-dessous. La pression supportée étant devenue moindre, l'air est plus dilaté, un même poids occupe un plus grand espace. Le même effet se continuant à toute hauteur, la densité de l'air diminue gra-

duellement jusqu'à devenir nulle et la profondeur totale de l'atmosphère se trouve ainsi considérablement agrandie.

Divers procédés ont été mis en usage pour évaluer approximativement l'épaisseur de la couche atmosphérique, et l'on est arrivé aux résultats les plus discordants.

La discussion des observations barométriques faites par Humboldt et Boussingault sur le Chimboraço et l'Antisana a conduit Biot à un chiffre de 20,000 mètres, qu'il a porté ultérieurement à 23,000, d'après la loi de décroissance des températures avec la hauteur, trouvée par Gay-Lussac dans son ascension aérostatique.

Les phénomènes de réfraction astronomique et d'éclairement de l'atmosphère observés pendant les heures de crépuscule ont fourni des évaluations beaucoup plus élevées, et la hauteur adoptée a été généralement de 15 à 20 lieues. Mais le segment de l'atmosphère qui reste éclairé d'une manière visible après le coucher du soleil ne s'étend pas jusqu'aux extrêmes limites de l'enveloppe gazeuse; arrivé à une certaine hauteur, l'air a une densité tellement faible que son pouvoir lumineux emprunté devient presque insensible. La hauteur calculée d'après l'arc crépusculaire paraît donc encore trop faible, et certaines observations de *bolides* ou d'*étoiles filantes*, corps errants dans l'espace et que leur passage rapide au travers de l'atmosphère échauffe au point de les rendre incandescents, entraînent à des chiffres de 70 à 80 lieues. La hauteur de l'atmosphère est probablement plus grande encore. Elle croît d'ailleurs assez rapidement des pôles à l'équateur.

Quoi qu'il en soit de ces chiffres, à une hauteur d'un petit nombre de lieues, la densité de l'air est déjà tellement faible que l'ensemble des couches supérieures n'est qu'une imperceptible fraction de la masse atmosphérique totale et ne peut exercer sur les couches inférieures qu'une influence à peu près négligeable. Les phénomènes multiples dont l'atmosphère est le

siége et dont nous ressentons les effets, sont limités à cette couche superficielle à la terre : les nuages sont les derniers témoins pouvant nous renseigner sur des mouvements que nous avons tant d'intérêt à étudier. On a souvent répété après Biot que la météorologie *doit être prise par en haut*. Cette formule a pu séduire des esprits habitués à l'harmonie d'une science déjà très-avancée comme la physique et l'astronomie, et qui, ne voyant dans la météorologie qu'un dédale de faits sans liaison, désespéraient de voir cette branche de la science se constituer par les moyens jusqu'alors usités. Si l'on entend exprimer par cette formule la nécessité d'observer les nuages comme indices des mouvements existant dans les régions moyennes de l'atmosphère, nul ne conteste cette vérité ; mais la formule est alors incomplète : *il faut prendre la météorologie par en haut, par en bas et surtout en surface*. Si l'on veut, au contraire, atteindre aux plus hautes régions de l'atmosphère et même au delà, le sol manque sous les pieds, et on laisse derrière soi les principes de mécanique, guide indispensable du météorologiste. Ce n'a jamais été la pensée de l'illustre académicien.

§ III. — **Vapeur d'eau.**

Nulle part l'atmosphère n'est en repos d'une manière absolue. Les forces les plus légères suffisent à la mettre en mouvement, et l'on rencontre partout des inégalités de température, de densité ou de pression rendant tout équilibre impossible. Si d'une part, elle touche aux espaces planétaires dont la température invariable descend au-dessous des froids les plus rigoureux dont nous puissions nous faire une idée, de l'autre, elle repose à la surface du globe dont chaque point a sa température propre et changeante suivant les périodes du jour ou de l'année.

Elle retient elle-même une partie des rayons solaires qui la traversent; et l'échauffement qui en résulte pour elle varie avec son degré de transparence. Le plus léger nuage suffit à rafraîchir l'atmosphère dans l'ombre projetée derrière lui et à rompre un équilibre sans cesse poursuivi, jamais atteint. Une des causes les plus actives, non des mouvements généraux qui s'y produisent, mais des perturbations qu'on y remarque, est la vapeur d'eau.

La vapeur d'eau jouit de toutes les propriétés inhérentes à l'état gazeux; mais la facilité avec laquelle elle reprend l'état liquide et retourne à l'état de vapeur lui donne des qualités particulières.

Les gaz et les vapeurs sont doués d'une force expansive tendant à accroître indéfiniment leur volume; mais tandis que l'on peut comprimer, indéfiniment aussi, l'azote et l'oxygène, la vapeur, au delà d'une certaine limite, revient à l'état d'eau, à moins que sa température ne s'élève en même temps.

Les gaz et les vapeurs se dilatent largement par la chaleur et se contractent par le froid, mais tandis que l'air peut supporter un froid indéfini, le plus faible abaissement de température peut liquéfier une partie de la vapeur d'eau contenue dans un espace donné.

Ces différences n'ont rien d'essentiel en théorie, mais elles ont une grande importance dans la pratique des faits météorologiques : la vaporisation de l'eau et le retour de la vapeur à l'état liquide donnent lieu à une foule de phénomènes constituant à eux seuls une grande part de la science dont nous nous occupons. Nous devons donc entrer, à cet égard, dans quelques détails.

Quand de l'eau est introduite dans un espace vide d'air, tel que l'espace existant au-dessus du mercure dans un tube barométrique, une portion de cette eau prend immédiatement l'état gazeux. La vapeur ainsi formée presse à la surface du mercure

en vertu de son élasticité, et le mercure se trouve déprimé d'une quantité invariable tant que la température ne change pas. Que l'on accroisse ou restreigne le volume de l'espace occupé par la vapeur, le niveau du mercure conserve la même hauteur, le volume d'eau restant varie seul. On exécute ordinairement cette expérience dans les cours au moyen d'un appareil représenté par la fig. 3. Une cuvette profonde est remplie de mercure ; on y renverse un long tube préalablement rempli de mercure lui-même et purgé d'air. On obtient ainsi un véritable baromètre. Si l'on introduit un peu d'air dans le tube, le mercure est immédiatement déprimé par l'élasticité de cet air, ainsi que le suppose notre fig. 3. En abaissant ou en soulevant le tube, le volume du gaz diminue ou s'accroît, et la hauteur de la colonne de mercure suspendue varie dans le même sens, comme l'indiquent les figures 4, 5 et 6; si au contraire on introduit un peu d'eau dans l'intérieur du tube, immédiatement aussi le mercure baisse d'une quantité variable suivant la température à laquelle on opère, mais toujours la même pour une même température. En soulevant le tube à différentes hauteurs, le niveau du mercure ne change


Fig. 3.

plus, ainsi que le représentent les fig. 7, 8 et 9, bien que le volume occupé par la vapeur ait considérablement varié; mais on reconnaît aussi que le volume de l'eau est d'autant plus faible que celui de la vapeur est plus grand.

Si on élève graduellement la température du tube, sans changer la position de ce dernier, on voit au contraire le niveau du mercure baisser de quantités correspondantes sous l'effort croissant de la vapeur, et le volume de l'eau diminuer dans

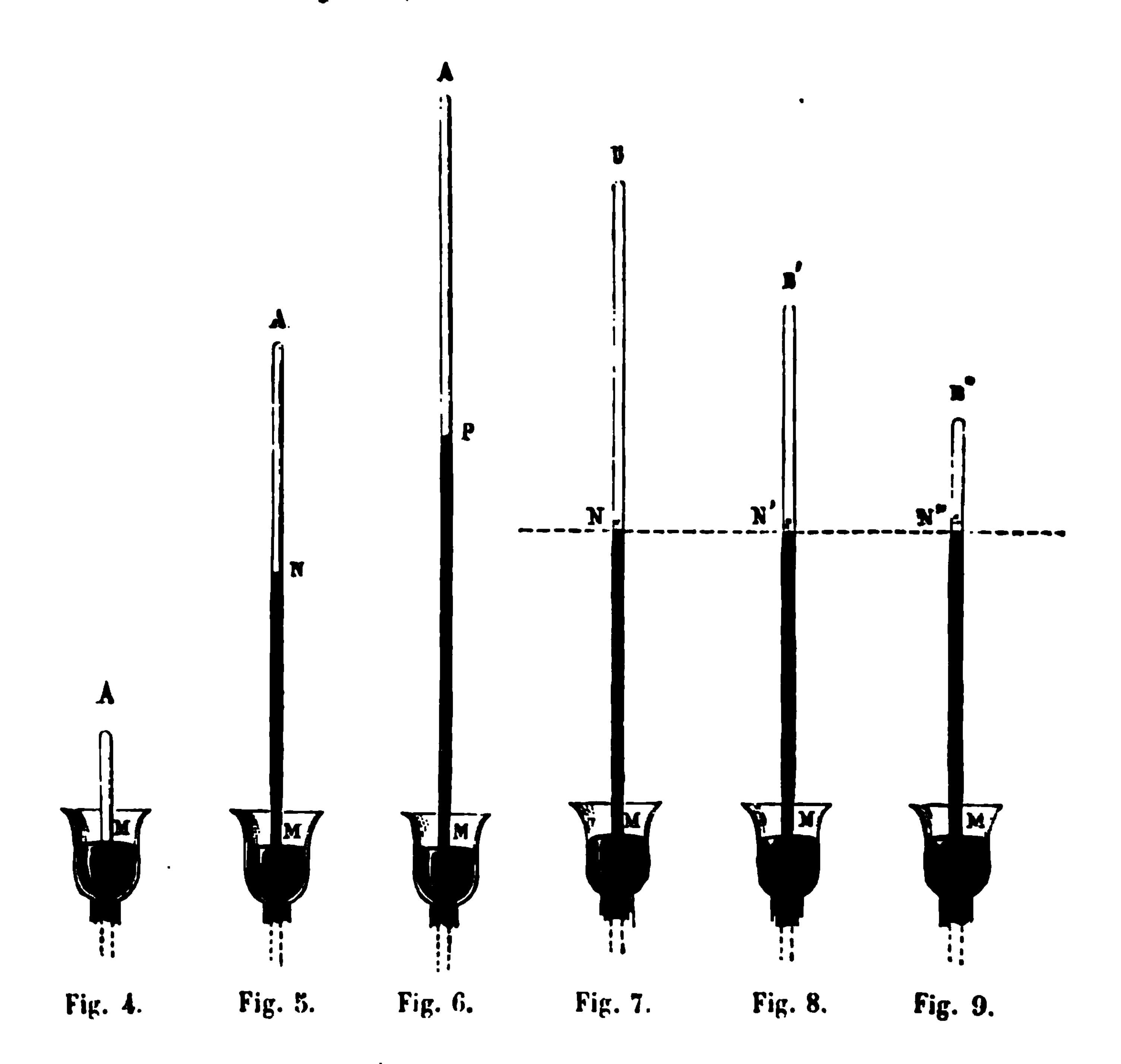
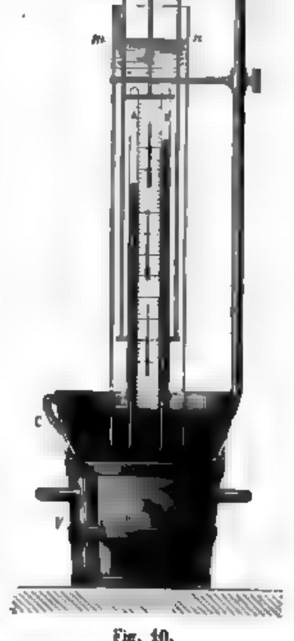


Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9.

une proportion beaucoup plus rapide que n'augmente le volume de la vapeur : celle-ci devient donc de plus en plus dense à mesure que son élasticité se développe davantage. La figure 10 représente l'appareil avec lequel on fait l'expérience. La cuvette profonde est remplacée par une marmite remplie de mercure, sur laquelle on a renversé un tube barométrique ordinaire pour servir de repère, et à côté le

tube contenant la vapeur. Les deux tubes sont entourés d'un manchon en verre plein d'eau. En chauffant, on voit la différence de hauteur des deux colonnes augmenter assez rapidement tant qu'il reste de l'eau non vaporisée dans le tube de gauche. La figure 11 donne une idée de la marche du phénomène. La ligne horizontale AB a été partagée en 55 parties égales correspondant chacune à un degré du thermomètre; nous avons marqué les divisions seulement de cinq en cinq et les degrés de dix en dix. En chacun des points de division on a élevé des verticales sur lesquelles on a porté, à partir de la ligne AB, des longueurs proportionnelles au nombre de grammes de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube à la température correspondante. La réunion des sommets de ces longueurs a donné lieu à la courbe CD. On voit qu'elle s'élève rapidement à mesure que la température monte.


Fig. 10.

Dans une masse d'air limitée, les choses ont lieu comme dans le vide, en ce sens qu'un mètre cube vide ou plein d'air peut contenir la même quantité de vapeur à la même température. Les phénomènes d'évaporation et de précipitation y sont en dernier résultat identiquement les mêmes, mais dans le vide ils sont pour ainsi dire instantanés, tandis que l'air en ralentit la production surtout pour l'évaporation.

Dans un espace vide d'air dont les diverses parties sont à des températures inégales et contiennent de l'eau, il se produit une distillation rapide et continue de l'eau chaude à l'eau

froide ; dans l'air, le même effet se présente, mais avec une extrême lenteur.

C'est à la surface du globe que l'atmosphère vient puiser sa vapeur. L'air y possède une température et, par suite, une capacité de saturation relativement élevées. Mais à mesure que la vapeur ainsi formée est entraînée par les courants, soit vers les

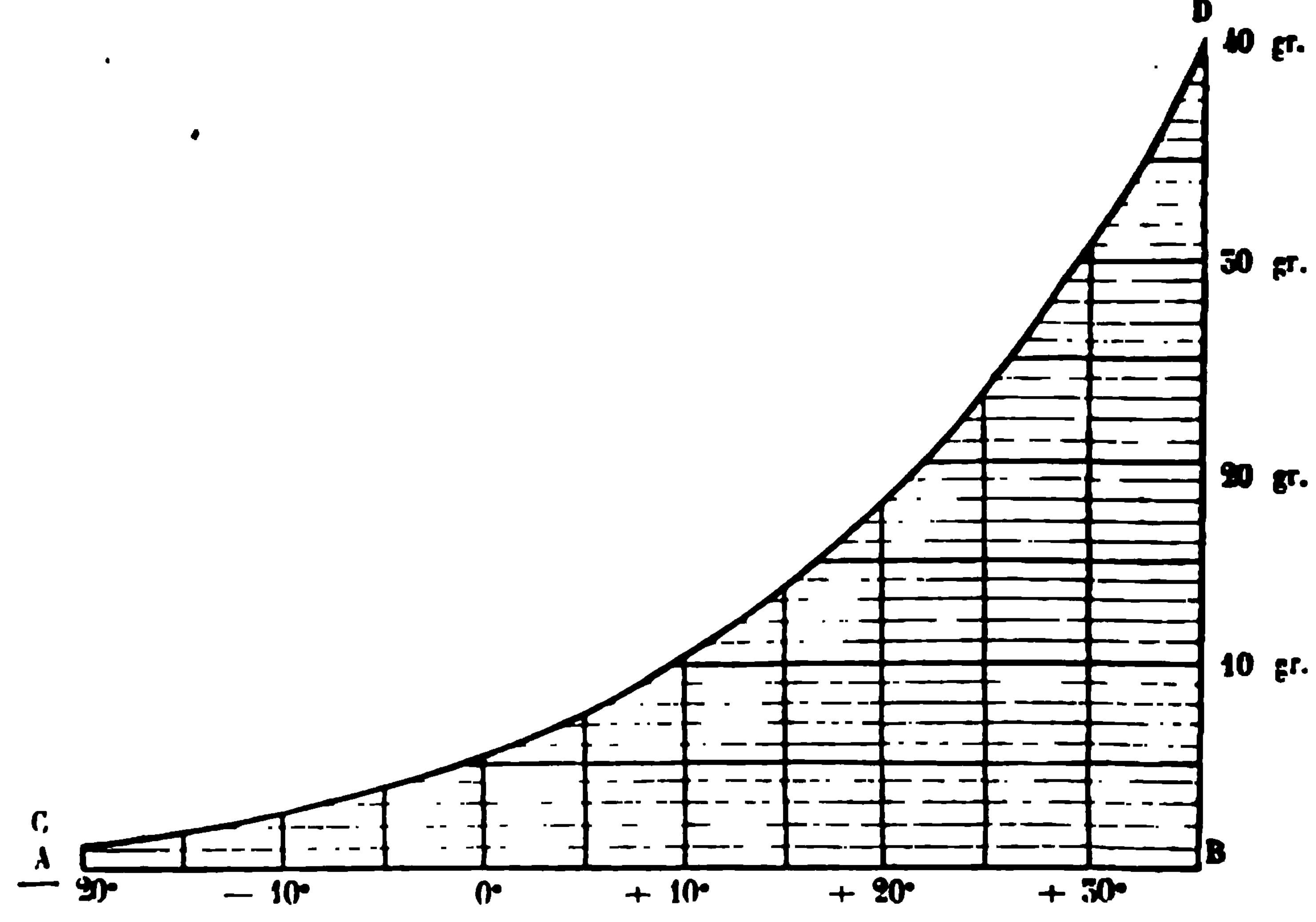


Fig. 11. — Table figurée des poids de vapeur d'eau renfermée dans un espace de 1 mètre cube saturé à diverses températures.

régions élevées de l'atmosphère, soit vers de plus hautes latitudes, elle y trouve une température plus basse et elle s'y précipite en partie sous forme de nuages ou de pluie. Le renouvellement des couches d'air à la surface du globe est trop prompt et l'évaporation dans l'air trop lente pour que la saturation soit complète aux lieux mêmes où se fait cette évaporation; sans cela, le ciel serait continuellement et partout pluvieux. Il paraît en avoir été ainsi aux époques reculées où la température du globe était notablement plus élevée qu'elle ne l'est actuellement ; mais aujourd'hui la saturation est à peine complète même au milieu des nuages. La figure 11 permet de se rendre compte aisément de ces divers effets. Un mètre cube d'air sa-

turé de vapeur à 20° en contient environ 18 grammes. Sa température descendant à 0°, il n'en peut plus contenir que 5 gr. ½. Si donc l'air en se refroidissant n'a pas changé de volume, il a dû perdre environ 13 grammes de vapeur condensée en eau. Un semblable refroidissement se produit quelquefois assez rapidement sur plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, et on comprend l'abondance des averses qui en résulteraient dans un air saturé. Les variations de température observées périodiquement entre le jour et la nuit suffiraient même à engendrer des pluies quotidiennes; et chaque bouffée d'air transportée de la surface du sol à quelques centaines de mètres en hauteur dans l'atmosphère se trouverait par cela même assez refroidie pour donner lieu à des vapeurs condensées. L'obstacle purement mécanique apporté par l'air à la vaporisation de l'eau rend nos climats moins exposés à des pluies incessantes.

La vapeur occupe sa place dans l'air où elle s'insinue; son poids s'ajoute au poids de l'air, sa force de ressort à celle de l'air. Pour que la pression totale reste la même, il faut que l'air se dilate jusqu'à ce que son accroissement de volume ait diminué sa force de ressort de la quantité qui s'est ajoutée à celle-ci par l'introduction de la vapeur. Quand, au contraire, de la vapeur se précipite au sein d'une masse d'air, l'élasticité diminue d'une quantité correspondante, à moins que l'air ne se contracte pour combler le vide. Les grandes condensations de vapeur d'eau brusquement opérées au sein de l'atmosphère sont une des principales sources des tourmentes si fréquemment observées dans certains parages.

Lorsque la vapeur s'ajoute simplement à l'air sans dilatation de ce dernier, le poids du mélange et sa densité se trouvent accrus; mais, si le mélange s'est dilaté pour conserver la même élasticité totale, comme la vapeur pèse moins que l'air dont elle a pris la place, la densité du mélange est diminuée. Un litre

d'air humide pèse toujours moins qu'un litre d'air sec à la même température et sous la même pression; la différence est d'autant plus grande que l'air contient plus de vapeur, qu'il est plus chaud et plus humide. Là se trouve encore une cause très-active des mouvements atmosphériques.

L'eau en se transformant en vapeur consomme une quantité considérable de chaleur. Il en faut autant pour vaporiser 1 kilog. d'eau qu'il en faudrait pour élever de 1° la température de 537 kilog. d'eau ou pour fondre 6, 8 kilog. de glace; mais la vapeur restitue intégralement cette chaleur quand elle repasse à l'état liquide. L'évaporation des eaux à la surface du globe et dans les régions chaudes, où elle a le plus d'activité, est donc une occasion permanente de rafraîchissement pour ces régions. La condensation de cette vapeur dans les régions froides les réchauffe au contraire.

D'un autre côté, d'après les expériences de Tyndall, la vapeur d'eau serait beaucoup moins transparente pour la chaleur et la lumière que ne le sont l'azote et l'oxygène. L'azote et l'oxygène laissent arriver jusqu'à nous, presque sans obstacle, la chaleur du soleil; mais ils laissent aussi la chaleur du sol se perdre aisément vers les espaces planétaires. La vapeur d'eau oppose de plus grands obstacles à l'un et l'autre effet, surtout au dernier. L'espèce de manteau formé par l'atmosphère autour de la terre pour la préserver du refroidissement, doit donc en très-grande partie son efficacité à l'intervention de la vapeur d'eau.

§ IV. — Couleur et transparence de l'atmosphère.

L'air atmosphérique est le corps le plus transparent qui soit connu. On sait à quelle distance il laisse voir les objets, surtout

dans certaines conditions, par exemple lorsque l'air a été balayé et rafraîchi par une pluie d'été.

La transparence de l'atmosphère n'est cependant pas parfaite. Chacune des particules dont elle est composée absorbe ou réfléchit une partie des rayons qui passent dans son voisinage, et quelque faible que soit cette partie, la répétition du même effet finit par le rendre appréciable. La réflexion ainsi produite porte surtout sur les rayons bleus de la lumière solaire [1], c'est à elle qu'est due la teinte particulière du ciel quand il est pur ; sans elle la voûte céleste serait noire, et le soleil nous paraîtrait comme un disque lumineux nettement circonscrit. On doit rattacher à la même cause la teinte bleue qui voile les objets éloignés.

Une partie des rayons bleus de la lumière solaire étant ainsi réfléchis ou dispersés, celle qui pénètre directement jusqu'à nous doit en conserver une moindre proportion. Or lorsque l'on enlève du bleu à la lumière blanche du soleil, il reste une couleur orangée. Cette couleur est nettement apparente au lever ou au coucher du soleil, parce que la longueur de la route parcourue par les rayons dans l'atmosphère a rendu la séparation des couleurs plus profonde. L'éclat du soleil, à son zénith, masque le phénomène. En comparant cependant la lumière solaire à la lumière électrique, par exemple, on reconnaît que la dernière est plus bleue et plus froide.

Les éléments constitutifs de l'atmosphère interviennent à des degrés divers dans la production de ce phénomène de réflexion et de diffusion. L'azote et l'oxygène y prendraient une faible part, tandis que la vapeur d'eau y jouerait le principal rôle. D'autres causes toutefois s'ajoutent encore aux précédentes.

[1] La lumière blanche est formée par la réunion d'une infinité de rayons de diverses couleurs, parmi lesquelles on distingue principalement les suivantes : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

L'air contient en suspension de fines poussières d'origine organique ou minérale dont l'effet est facile à comprendre. Il en est de même des brouillards ordinaires formés de globules d'eau imperceptibles à l'œil nu.

D'autre part, si l'on dirige vers les objets lointains une lunette douée d'un pouvoir grossissant un peu fort, on distinguera nettement le matin les contours de ces objets; mais lorsque la surface du sol commencera de s'échauffer, les contours deviendront graduellement tremblotants et finiront par s'effacer d'une manière complète. On observe à la simple vue un effet de ce genre dans le voisinage des corps très-chauds. L'air échauffé par ces corps s'élève en courants mobiles incomplétement mélangés à l'air froid; et comme l'air réfracte inégalement la lumière suivant que sa température est plus ou moins élevée, les rayons lumineux sont déviés dans un sens ou dans l'autre, au gré de ces courants sans cesse changeants. Dans les circonstances ordinaires de l'atmosphère, l'effet est moins marqué, mais il est général à la surface du globe frappée par les rayons solaries; il se continue même pendant les nuits en s'affaiblissant graduellement et les vents qui règnent à diverses hauteurs dans l'air suffisent à le produire. La scintillation des étoiles se rattache à cette cause. On voit quelquefois, pendant les nuits les plus pures et en apparence les plus calmes, les étoiles scintiller plus qu'à l'ordinaire et subir des oscillations très-prononcées dans leur position, leur couleur et leur éclat. On dit qu'elles *baignent dans l'eau*. On peut en conclure que des courants d'air inégalement chauds et chargés de vapeur traversent les régions élevées de l'atmosphère.

La lumière se réfléchit comme elle se réfracte sur les surfaces de séparation des couches ou des veines d'air inégalement denses; les rayons ainsi écartés de la direction des corps d'où ils émanent vont s'ajouter à tous les autres pour grossir la somme de lumière errante dans l'atmosphère. L'atmosphère

semble lumineuse par elle-même, parce que chacun de ses points est traversé par un rayon dévié parvenant jusqu'à nous. Un voile s'interpose ainsi entre les objets lointains : outre que leurs contours sont troublés par un tremblotement analogue à la scintillation des étoiles, leurs nuances diverses sont lavées et plus ou moins effacées par la lumière diffuse de l'atmosphère. Ce résultat se produit surtout à l'horizon et par les temps très-chauds, parce que c'est dans les couches voisines du sol que les inégalités de température de l'air sont le plus prononcées et que les courants sont le plus actifs. Il semble qu'un brouillard couvre la terre, et cependant l'air est sec. Que le ciel se couvre, que la chaleur du sol se tempère, ou qu'une pluie vienne égaliser les températures et laver l'air des poussières qu'il tient en suspension, et l'atmosphère reprend son degré normal de transparence. Quand le ciel est blanc, sans nuages cependant, on dit qu'il est *vaporeux* : cette apparence est, en effet, due à des globules de vapeur condensée ; mais l'expression est loin d'être toujours applicable à l'aspect voilé des objets situés vers l'horizon pendant les plus beaux jours de l'été.

La lumière diffusée dans l'atmosphère provient donc de trois sources différentes.

Une première partie est réfléchie par les grains de poussière ou les globules de vapeur condensée en suspension dans l'air ; elle s'accroît de la lumière réfléchie ou réfractée à la surface de séparation de courants inégalement chauds et humides. Cette première portion est blanche ou colorée comme la lumière d'où elle émane.

Une seconde partie est diffusée par les particules constitutives de l'atmosphère elle-même. Cette lumière est bleue.

Une troisième partie est de la lumière directement transmise ou peu déviée et à laquelle manquent des rayons bleus : elle est orangée.

Seules ou mélangées en proportions diverses, ces trois sortes

de lumière produisent les colorations variées qui donnent tant de charmes à la contemplation du ciel, particulièrement aux heures de crépuscule ou d'aurore. Ces colorations liées à l'état de l'atmosphère, fournissent d'utiles indications sur les changements qui s'y préparent.

§ V. — La terre.

La terre forme avec l'air le plus entier contraste. Opaque et solide, elle est accessible par sa seule surface à l'action des rayons solaires. Une partie de la chaleur qu'elle reçoit est immédiatement renvoyée à l'espace dans toutes les directions; mais elle en absorbe généralement la plus forte proportion. Une portion de cette dernière est reprise au sol par l'air en contact avec lui; une autre rayonne peu à peu vers les espaces planétaires en traversant une seconde fois l'atmosphère; une troisième sert à la vaporisation de l'eau dont le sol ou les plantes sont plus ou moins imprégnés; une quatrième est consommée par les végétaux dans l'organisation de leurs tissus; le reste pénètre peu à peu dans les couches profondes par voie de conductibilité.

Cette conductibilité est toujours très-faible; aussi les variations de température de la surface du sol s'affaiblissent-elles rapidement à mesure que l'on pénètre dans les couches sous-jacentes. Dans l'Amérique tropicale où la température varie peu d'un bout à l'autre de l'année, il suffit, d'après M. Boussingault, de descendre de 5 ou 6 décimètres pour trouver une couche à température à peu près invariable pendant tout le cours de l'année; dans nos climats, il faut aller plus bas. M. Quételet, à Bruxelles, et M. Becquerel, à Paris, ont étudié avec soin la marche du thermomètre à diverses profondeurs.

Les oscillations diurnes y disparaissent à une distance d'un peu plus d'un mètre de la surface, et les variations annuelles à 24 ou 25 mètres. Ces nombres varient du reste non-seulement avec la latitude, mais avec la nature de la partie superficielle de la terre et sa culture, avec la qualité des couches sous-jacentes, avec l'abondance des eaux d'infiltration, etc.

Le pouvoir absorbant de la surface terrestre pour la chaleur est très-variable suivant les lieux. Les plantes absorbent beaucoup, mais elles consomment beaucoup aussi, soit pour elles-mêmes, soit par l'évaporation qu'elles produisent : les bois, les prairies, les champs cultivés et couverts de récoltes s'échauffent moins que les terres nues ou les roches.

La capacité calorifique du sol change aussi avec sa nature. Les terrains sableux, secs, sans avoir un pouvoir absorbant aussi élevé que les autres, s'échauffent beaucoup parce qu'ils ont besoin de peu de chaleur pour le faire, et qu'étant très-mauvais conducteurs ils gardent cette chaleur à leur surface.

Cette localisation de la chaleur, en rendant l'échauffement superficiel du sol plus rapide pendant le jour ou l'été, rend aussi son refroidissement plus prompt pendant la nuit ou l'hiver. Quelques centimètres de neige suffisent pour ralentir le refroidissement et pour préserver de la gelée les racines des plantes.

Les oscillations du thermomètre en plus ou en moins sont d'autant plus grandes que le ciel est plus pur. Il n'est pas rare, même dans nos climats, de voir un thermomètre couché sur le sol atteindre à 50 ou 60 degrés pendant le jour, tandis que sur des plateaux peu élevés de l'Inde, où la température du jour est très-haute, on peut faire congeler de l'eau par le simple effet du rayonnement pendant certaines nuits d'été.

L'air n'exigeant pour s'échauffer qu'une très-faible quantité de chaleur, participe assez rapidement à ces extrêmes de température du sol. En plein soleil cependant, la température du sol est généralement de quelques degrés supérieure à celle de

l'air en contact avec lui; elle est au contraire plus basse vers la fin d'une nuit sans nuage. La surface terrestre est le régulateur ordinaire de la température des couches inférieures de l'atmosphère. Si le contraire se présente quelquefois, il faut l'attribuer à des circonstances exceptionnelles et transitoires.

L'inégale température des divers terrains favorise l'établissement des courants dans l'atmosphère; l'air monte sur les plus chauds et descend sur ceux qui le sont moins. Les ondulations du sol, les rampes des montagnes, aident particulièrement à ces mouvements en servant, pour ainsi dire, de conducteurs aux courants ascendants pendant le jour et descendants pendant la nuit. Les fortes saillies, telles que les chaînes des Alpes, des Pyrénées, etc., tout en activant ainsi la circulation atmosphérique locale, réagissent encore sur les courants généraux qu'ils dévient latéralement ou en hauteur. Ce dernier effet, en portant dans les régions élevées et froides des masses d'air chargées d'humidité dans les régions plus chaudes, devient la source de condensations abondantes de vapeur d'eau et des phénomènes qui en sont la conséquence.

§ VI — **La mer.**

La mer est intermédiaire par ses propriétés entre l'atmosphère et la terre. Son pouvoir absorbant et son défaut de conductibilité pour la chaleur sont comparables à ceux du sol; sa mobilité la rapproche de l'air.

L'eau absorbe la plus grande partie de la chaleur solaire qui tombe à sa surface; mais son évaporation continue en consomme une forte proportion. Le reste ne peut cheminer qu'avec une extrême lenteur dans la masse liquide; mais l'eau, sans cesse en mouvement, vient présenter successivement ses diverses parties aux rayons solaires, et la répartition de la chaleur, tout en

s'effectuant d'une manière indirecte, n'en a pas moins lieu à une assez grande profondeur. Elle est cependant beaucoup moins rapide que dans l'air. Celui-ci, en effet, est traversé par les rayons solaires dans toute son épaisseur, et chacune de ses particules en prend directement sa part, tandis que l'eau arrête dès ses premières couches les rayons qui tentent de le traverser. D'un autre côté, l'air est en contact par sa base avec la terre échauffée; la chaleur qu'il prend ainsi le rend plus léger et devient la cause de sa propre diffusion. Au contraire, l'eau chauffée par la surface tend à s'étaler au-dessus des couches froides, et ce n'est que par l'intervention de causes particulières qu'elle peut glisser dans la mer au-dessous de couches plus froides il est vrai, mais rendues moins salées et plus légères par une forte proportion d'eau douce.

L'eau a une énorme capacité pour la chaleur; il lui en faut pour que sa température s'élève de 1 degré beaucoup plus que la terre à volume égal, et surtout incomparablement plus que l'air.

De toutes ces causes résultent les faits suivants :

Dans les grandes nappes d'eau recouvrant les deux tiers de la surface terrestre, la chaleur reçue en un point, dans les régions intertropicales, par exemple, est entraînée par les courants de surface à de grandes distances vers les régions polaires, ce qui tend à égaliser les températures à la surface du globe.

L'eau s'échauffe lentement et se refroidit avec une égale lenteur, et, par conséquent, les températures de la mer varient beaucoup moins que celles du sol pendant les diverses heures du jour ou les diverses périodes de l'année. Les couches d'air situées à la surface des mers participent de cette constance relative des températures comme l'air des continents participe de leurs variations extrêmes.

L'homogénéité de la surface des mers y fait disparaître en même temps les inégalités locales de température observées sur

les continents, et les courants d'air sont plus réguliers sur mer que sur terre; mais ces inégalités reparaissent au contraire avec plus d'intensité dans le voisinage des côtes. Des alternances de température en excès y ont lieu chaque jour entre la terre et l'eau. Dans les climats chauds ou tempérés, le sol est plus chaud que la mer dans le milieu du jour et dans l'été; il est, au contraire, plus froid pendant la nuit et pendant l'hiver. Il en résulte nécessairement des courants ascendants tantôt sur le sol et tantôt sur la mer, et par suite des brises superficielles allant dans le premier cas de la mer à la terre et dans le second cas de la terre à l'eau. Des courants analogues se rencontrent plus ou moins marqués à toutes les latitudes.

Une humidité plus grande et une plus grande uniformité dans les climats sont la conséquence du voisinage des grandes nappes d'eau. Ajoutons que les mers tempèrent à la fois, et l'extrême chaleur des régions tropicales et les froids excessifs de certaines régions polaires.

§ VII. — Marées de l'Océan et de l'atmosphère.

Le niveau de l'Océan est périodiquement soulevé deux fois par jour par les influences combinées de la lune et du soleil. Ce phénomène est connu sous le nom de *marée;* il est soumis à des lois assez simples et assez bien connues pour que l'on puisse calculer à l'avance l'heure de son arrivée. Le baromètre est, lui aussi, soumis à une double oscillation quotidienne que l'analogie a fait attribuer à des marées atmosphériques. Ces deux espèces de marées sont cependant essentiellement différentes dans leurs causes et dans leur mode de périodicité.

Les marées océaniques, produites surtout par l'action lunaire, obéissent dans leur apparition aux mouvements de notre satel-

lite ; et comme le passage de cet astre au méridien retarde chaque jour de 50 minutes et demi, les marées retardent en moyenne de la même quantité d'un jour à l'autre; elles arrivent donc successivement à toutes les heures du jour et de la nuit. L'oscillation barométrique s'effectue, au contraire, toujours à la même heure en moyenne : ses phases sont liées à celles du jour.

L'oscillation de la surface des mers prend naissance dans les régions voisines de l'équateur et se propage successivement vers les pôles; elle met un jour et demi pour parvenir jusqu'à nos côtes : l'heure de son apparition est conséquemment très-variable suivant les latitudes. Les oscillations du baromètre, dépendant surtout des heures du jour, se produisent à peu près aux mêmes instants sur toute la longueur d'un méridien.

A quelque point de vue que nous nous placions dans la comparaison de ces deux phénomènes, nous ne trouvons aucune espèce d'analogie entre eux ; et lorsque nous aurons expliqué (chap. VI) les causes des variations régulières du baromètre, on comprendra qu'ils n'aient rien de commun.

On se demandera cependant si l'action de la lune peut être nulle sur notre atmosphère, dont la mobilité est extrême, alors que cette action met en mouvement d'énormes masses d'eau. Nous remarquerons d'abord que la vague, dont la propagation produit les marées, n'a par elle-même qu'une hauteur très-peu considérable; la grande oscillation observée dans certains de nos ports, et en particulier à Saint-Malo, est un résultat de la configuration des côtes. Les grandes marées, à Saint-Malo, peuvent atteindre à 6 ou 7 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer; à l'entrée de l'Adour, elles ne dépassent guère $1^{m},50$. D'un autre côté, l'action de la lune sur un corps est proportionnelle à la masse de ce corps; et si l'air est beaucoup plus facile à mouvoir que la mer, parce que sa densité est environ 800 fois plus faible à la surface du globe que celle de l'eau, la lune agit

avec une intensité 800 fois plus faible sur cet air que sur l'eau des mers. En supposant donc, ce qui est vrai au point de vue de l'absolu, que la surface supérieure de l'atmosphère subisse deux fois par jour une oscillation de quelques mètres, de quelques dizaines de mètres même si l'on veut, les résultats de ce mouvement sont imperceptibles pour le baromètre. Nous avons représenté (fig. 12 et 13) les courbes des pressions barométriques moyennées à 9 heures du matin et à 3 heures du soir, calculées par M. A. Bouvard[1] d'après 12 années d'observations faites à l'Observatoire impérial. La figure 12 correspond aux syzygies, c'est-

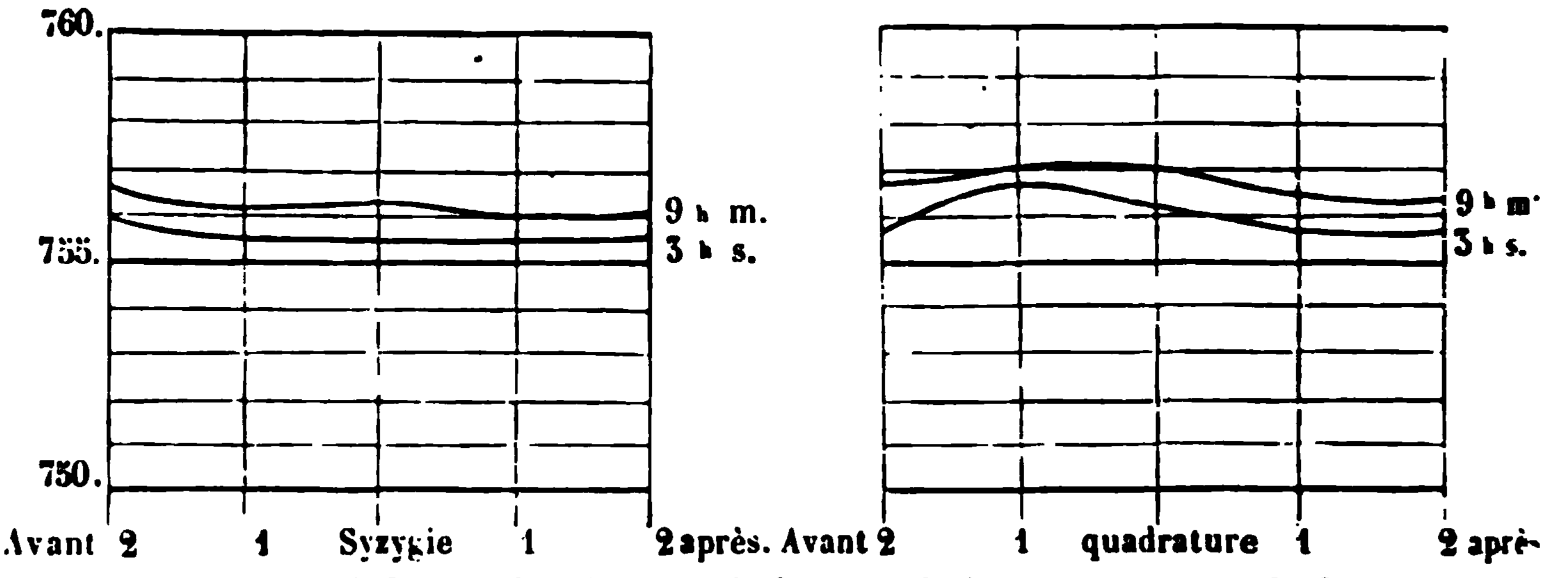


Fig. 12 et 13. — Influence des phases de la lune sur la hauteur moyenne du baromètre à Paris.

à-dire aux nouvelles et aux pleines lunes, et s'étend deux jours avant et deux jours après : c'est l'époque des fortes marées. La figure 13 correspond aux quadratures, c'est-à-dire au moment où la lune est à moitié ou aux trois quarts pleine : c'est l'époque des marées les plus faibles. Sur chacune des lignes verticales correspondant à un jour donné nous avons pris une longueur proportionnelle à la hauteur moyenne du baromètre à 9 heures du matin, en en retranchant le nombre constant 750[2]. En joignant les sommets de ces longueurs, nous avons obtenu les courbes à côté desquelles est inscrit 9 heures du matin. Nous

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*. t.VII, p. 267.

[2] Cette soustraction de 750 millimètres commune à tous les jours, a eu pour but de donner aux figures des dimensions assez réduites pour entrer dans notre format.

avons procédé de la même manière pour les hauteurs moyennes du baromètre à 3 heures du soir.

Si nous avions opéré ainsi pour les hauteurs de la mer, nous aurions inévitablement trouvé que pour l'un des jours inscrits dans notre première figure, la mer eût été basse à 9 heures et haute à 3 heures; sept jours après, nous l'aurions au contraire trouvée, dans la seconde figure, haute à 9 heures et basse à 3 heures : la position relative des deux lignes eût été renversée. Or, nous voyons, au contraire, dans les figures 12 et 13, que la pression barométrique à 9 heures est toujours supérieure à la pression de 3 heures. L'écartement diffère, il est vrai, d'un jour à l'autre de quelques dixièmes de millimètre. En attribuant ces variations exclusivement à l'influence lunaire, ce qui est très-loin d'être démontré, on arrive à des effets de cinq ou six dixièmes de millimètre, tandis que le baromètre peut varier dans nos climats de 40 à 50 millimètres dans une période de temps assez courte. On concevra dès lors combien sont illusoires les théories d'après lesquelles les variations du temps seraient réglées par les phases de la lune.

Les préjugés populaires sont difficiles à combattre et à déraciner, d'autant plus que généralement ils ont une base dans l'observation journalière des faits; et que, dans l'ignorance des causes généralement complexes auxquelles se rattachent ces faits, on les associe à quelque phénomène apparent pour tout le monde. Les cultivateurs ont parfaitement raison, à un certain point de vue, de redouter la lune rousse, bien qu'elle soit complétement innocente des méfaits qu'on lui attribue. Mais quand la lune apparaît, c'est que le ciel est beau et quand le ciel est beau pendant les nuits des premiers jours de mai, les gelées sont très à craindre. La gelée, dans ce cas, est entièrement indépendante de la présence ou de l'absence de la lune sur l'horizon; mais la lumière de cet astre rend l'état du ciel plus sensible et le phénomène plus frappant.

Il y a là une idée fausse popularisant un fait vrai : la fréquence des gelées du printemps et leurs fâcheux effets sur les plantes. Cette association n'est qu'un demi-mal ; il y a double mal quand le fait et la théorie sont également erronés. Or l'influence de la lune sur le temps, dans la mesure où on a cherché à l'établir, et les considérations sur lesquelles on a voulu baser cette influence, rentrent dans ce dernier cas.

CHAPITRE III

LES TEMPÉRATURES DU GLOBE

De toutes les forces capables de mouvoir l'atmosphère, la première et la plus importante est incontestablement la chaleur ; les autres en sont la conséquence plus ou moins directe.

La chaleur terrestre prépondérante aux premiers âges de la terre se trouve actuellement confinée dans les couches profondes du globe. La croûte solide aujourd'hui refroidie ne laisse arriver à la surface que des quantités de calorique insuffisantes pour en modifier la température d'une manière sensible. C'est donc dans la chaleur venue du dehors, et particulièrement dans la chaleur solaire et dans les circonstances au milieu desquelles elle agit que nous devons rechercher d'abord l'explication des phénomènes météorologiques.

§ Ier. — Chaleur des espaces planétaires.

La chaleur des espaces planétaires a été l'objet d'un important travail dû à M. Pouillet. Cet éminent physicien estime que

la température de ces espaces doit être d'environ 140 degrés au-dessous du point de fusion de la glace. D'après ses expériences et ses calculs, si le soleil ne faisait pas sentir son action sur notre globe, la température y serait partout uniforme, et de 89 degrés au-dessous de zéro. Ce premier passage d'un froid de 140 degrés à un froid moins excessif de 89 degrés serait dû aux radiations de toutes les étoiles qui peuplent le firmament. Chacune d'elles est un soleil, et si leur influence est infiniment réduite par la distance où elles sont de nous, leur nombre est infini. La somme totale de leurs effets serait presque égale à celle du soleil; mais comme leur action calorifique est pour nous permanente et uniformément distribuée sur le globe, à peu près du moins, elle passe inaperçue. M. Pouillet a évalué cependant qu'elle serait capable de fondre en une année, à la surface de la terre, une couche de glace d'une épaisseur uniforme de 26 mètres.

§ II. — Chaleur solaire.

Les expériences de M. Pouillet l'ont conduit d'autre part à ce résultat que si la chaleur qui nous est versée annuellement par le soleil était uniformément répandue à la surface de la terre, elle serait capable d'y fondre une couche de glace d'une épaisseur de 31 mètres environ : elle équivaut pour nous à celle que produirait la combustion d'une couche de charbon de 250 millimètres d'épaisseur enveloppant également toute la terre. On pourra d'après ces nombres se faire une idée approchée de la puissance calorifique de notre foyer central de chaleur si l'on considère qu'il rayonne également dans toutes les directions, que la terre n'occupe dans le ciel du soleil qu'une imperceptible étendue et que cependant la part de chaleur qu'elle reçoit correspond à celle qui résulterait de la combus-

tion d'une trentaine de millions de mètres cubes de charbon par seconde de temps. Ainsi groupés, ces chiffres paraîtront gigantesques ; ils sembleront au contraire assez faibles si nous les répartissons de nouveau sur la surface totale du globe, et surtout si nous les rapprochons du froid intense des espaces planétaires au milieu desquels nous sommes emportés, et de l'action exercée par l'ensemble des étoiles. En réalité, malgré l'influence du soleil, le froid serait intolérable pour nous sans l'abri qui nous est fourni par l'atmosphère.

La chaleur du soleil est très-inégalement répartie à la surface du globe. Pendant chaque période diurne, l'ardeur et l'éclat de ses rayons nous semblent s'accroître depuis le lever de cet astre jusqu'à son passage à son point le plus haut, puis s'affaiblir graduellement sur le soir. La distance du soleil jusqu'à nous reste cependant sensiblement la même ; mais à mesure que ses rayons viennent frapper plus obliquement la surface de la terre, ils en couvrent une plus grande étendue et chaque unité de surface en reçoit, par cela même, une moindre quantité. Or, ce qui a lieu en un même point du globe aux différentes heures du jour, se reproduit à la même heure aux divers points d'un même méridien, d'un pôle à l'autre.

La figure 14 rend visible cette influence de l'obliquité. Les deux rayons I et I′ ont un égal volume ; ils ont même pouvoir avant leur entrée dans l'atmosphère A ; mais le second I′ se partage entre un plus grand nombre de points de la surface terrestre T que ne fait le premier, et son action calorifique en chaque point en est amoindrie.

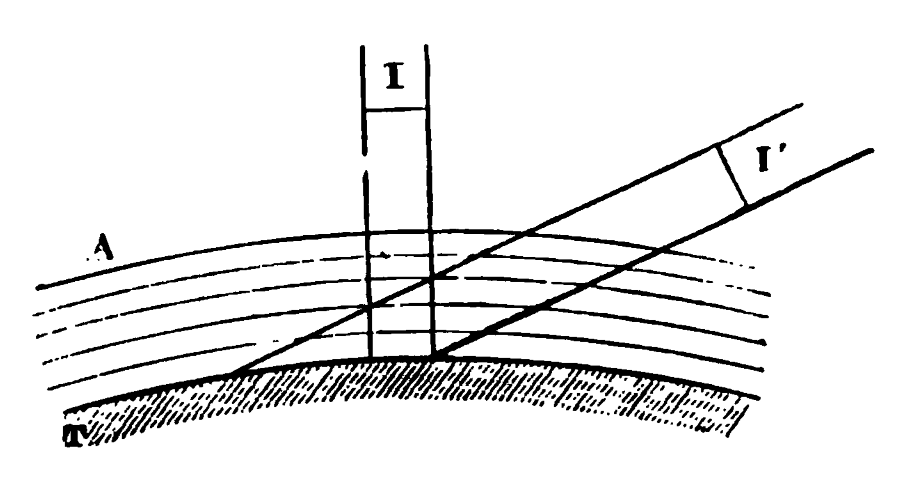


Fig. 14.

La même figure nous aide à comprendre une autre influence

de l'inclinaison des rayons solaires, non moins importante que la première. Le rayon oblique I' parcourt dans l'atmosphère un chemin notablement plus allongé que le rayon normal I; or nous avons déjà vu dans le précédent chapitre que l'atmosphère est douée d'une transparence incomplète et qu'elle absorbe ou diffuse dans tous les sens une assez forte proportion de la chaleur et de la lumière qui la traversent. M. Pouillet a déduit de ses expériences que, en moyenne, sur le total de la chaleur arrivant aux limites supérieures de notre atmosphère, les cinq ou six dixièmes seulement pénètrent directement jusqu'à nous : le reste est absorbé ou diffusé dans l'air, alors même que cet air a toutes les apparences d'une sérénité parfaite. La perte varie beaucoup avec la longueur du trajet parcouru. Pour des rayons traversant l'atmosphère dans le sens de sa moindre épaisseur, la diminution est seulement de deux dixièmes au lieu de cinq ou six; elle augmente rapidement avec l'obliquité; elle devient souvent telle pour des rayons rasant la surface du sol, même dans un ciel sans nuages, que l'on peut, sans fatigue, fixer les yeux sur le soleil près de l'horizon, tandis que la vue n'en pourrait supporter l'éclat dans le milieu du jour. Cet affaiblissement extrême n'est cependant pas constant; il varie avec l'état de l'atmosphère.

Sous l'influence de l'une et de l'autre des deux causes précédentes, l'atmosphère reçoit à surface égale, moins de chaleur dans les régions polaires où le soleil est toujours près de l'horizon, que dans les régions équatoriales où il monte chaque jour jusqu'à la verticale. De cette moindre quantité de chaleur, l'atmosphère laisse encore passer une fraction plus faible vers les pôles que vers l'équateur.

Jusqu'à présent le rôle de l'air semble être de réduire la part de chaleur qui parvient jusqu'à nous; nous verrons tout à l'heure que sa transparence imparfaite a pour effet, au contraire, de nous garantir contre le froid des espaces planétaires.

§ III. — Influence de l'atmosphère sur les températures du globe.

Si les astres rayonnent de la chaleur dont une partie est reçue par la terre, la terre à son tour rayonne vers les espaces en proportion de la température à laquelle elle se trouve. Un équilibre, dont les éléments varient sans cesse, tend à s'établir entre la perte et le gain. Tantôt le gain l'emporte et la température monte, tantôt au contraire la perte prend le dessus et la température baisse; mais comme en résumé la température moyenne reste la même au bout de l'année, l'équilibre finit par se produire entre les quantités totales de chaleur gagnées ou perdues. Or, dans ce mutuel échange entre la terre et les espaces planétaires, si l'atmosphère intercepte une partie des rayons à l'arrivée, elle en arrête une bien plus forte proportion à la sortie, et son rôle est tout à notre avantage.

La transparence de l'air est très-inégale pour la chaleur suivant la source d'où émane cette chaleur. Nul caractère essentiel ne sépare les diverses espèces des rayons calorifiques; ils diffèrent entre eux comme les sons aigus diffèrent des sons graves : par la rapidité de la vibration qui les constitue. Mais des différences de même nature suffisent à distinguer les couleurs, et nous savons que certains verres laissent passer les rayons rouges à l'exclusion de tout autre, tandis que d'autres corps ne sont transparents que pour les rayons jaunes, etc. On conçoit que l'air puisse avoir des préférences de même nature à l'égard de la chaleur.

Cette particularité de l'air ne lui est d'ailleurs pas spéciale. La chaleur solaire passe aisément au travers des vitres de nos appartements, tandis que le verre est presque complétement opaque pour la chaleur de nos foyers; celle-ci ne le traverse

qu'à la manière dont elle traverse le bois, la pierre ou le fer, c'est-à-dire par voie de conductibilité toujours très-lente.

L'inégale transparence des corps pour la chaleur émanant de sources diverses a été rendue évidente par les expériences directes des physiciens, et en particulier de Melloni ; une de ses conséquences les plus importantes pour nous ressort de l'expérience suivante de de Saussure. On prend une boîte dont l'intérieur est tapissé par des corps mauvais conducteurs de la chaleur, tels que de la ouate ou du liége, et que l'on a recouverts d'une couche de noir de fumée pour augmenter leur pouvoir absorbant. On ferme la boîte par des lames de verre ordinaire après y avoir introduit un thermomètre, puis on l'oriente de manière que les rayons solaires frappent perpendiculairement les lames transparentes. On voit le thermomètre monter peu à peu et atteindre, même dans nos climats, une température de 60 à 80 degrés, alors que le thermomètre extérieur marque à l'ombre 15 ou 20 degrés à peine.

Un effet analogue est produit dans nos serres. La lumière et la chaleur solaire y pénètrent facilement; elles y exercent leur action vivifiante sur les plantes. Ce qui n'est pas consommé ou assimilé par celles-ci, ou absorbé par l'eau qui s'y vaporise, sert à élever la température de l'air et des objets qu'il baigne. Mais en même temps une transformation s'opère dans la vibration calorifique, qui devient moins rapide; le son baisse pour ainsi dire, la chaleur, de lumineuse, devient obscure. Les vitres dès lors font obstacle à sa sortie; la chaleur s'accumule dans la serre jusqu'à ce que l'excès de la température intérieure sur celle du dehors ouvre d'autres voies à son écoulement.

L'atmosphère forme une véritable serre autour de la terre. La chaleur solaire la traverse dans la proportion de quatre à cinq dixièmes, d'après M. Pouillet; arrivée au contact des corps, elle s'y transforme en les échauffant ; elle devient moins habile à circuler au travers de l'atmosphère pour se perdre dans les espaces:

un dixième seulement de celle qui se présente à la sortie peut s'échapper. Pour que la perte soit égale au gain, il faut donc que la chaleur rayonnée par la surface du globe soit quatre ou cinq fois plus grande qu'elle ne le serait, si l'air jouissait d'un égal degré de transparence pour l'une et l'autre chaleur. Le seul moyen d'accroître le rayonnement d'un corps donné est d'élever sa température. L'atmosphère a donc pour effet d'élever dans une forte proportion la température moyenne de la surface terrestre en la protégeant contre un refroidissement trop facile.

§ IV. — **Variation de la température avec la latitude.**

L'égalité finale entre la quantité de chaleur reçue par la surface du globe et celle qu'elle perd doit exister, non-seulement pour l'ensemble, mais encore pour chaque partie de la surface.

Les rayons terrestres tendent toujours à traverser l'atmosphère perpendiculairement et dans le sens de sa plus faible épaisseur, qu'ils émanent des pôles ou de l'équateur. Les rayons solaires, au contraire, nous arrivent avec des inclinaisons très-inégales suivant les lieux, et leur action est beaucoup plus intense dans les régions équatoriales qu'aux latitudes plus élevées. La surface du globe doit donc s'échauffer beaucoup plus dans celles-là que dans celles-ci.

D'une manière générale, la température décroît rapidement de l'équateur vers les pôles. La loi de décroissance est toutefois loin d'être régulière, et des points situés sur un même parallèle ont souvent des températures très-inégales. C'est que la chaleur reçue est différemment employée suivant les régions où elle tombe et que des circonstances diverses viennent en modifier la répartition naturelle.

Nous avons vu, chapitre II, que la mer s'échauffe moins

que les continents; que les terres humides ou chargées d'une riche végétation consomment, par l'évaporation de l'eau et par la croissance des plantes qu'elles nourrissent plus de chaleur que les terres sèches et arides : la chaleur disponible y étant moins considérable, exige une moindre élévation de température pour s'écouler au dehors.

D'un autre côté, les vents et les courants marins emportent avec eux une notable portion de la chaleur fournie aux régions équatoriales et la distribuent très-inégalement sur les régions tempérées et sur la zone glaciale; l'évaporation, en excès dans la zone torride, y est aussi une cause de rafraîchissement, tandis que la condensation des vapeurs dominant aux latitudes élevées tend à échauffer ces dernières.

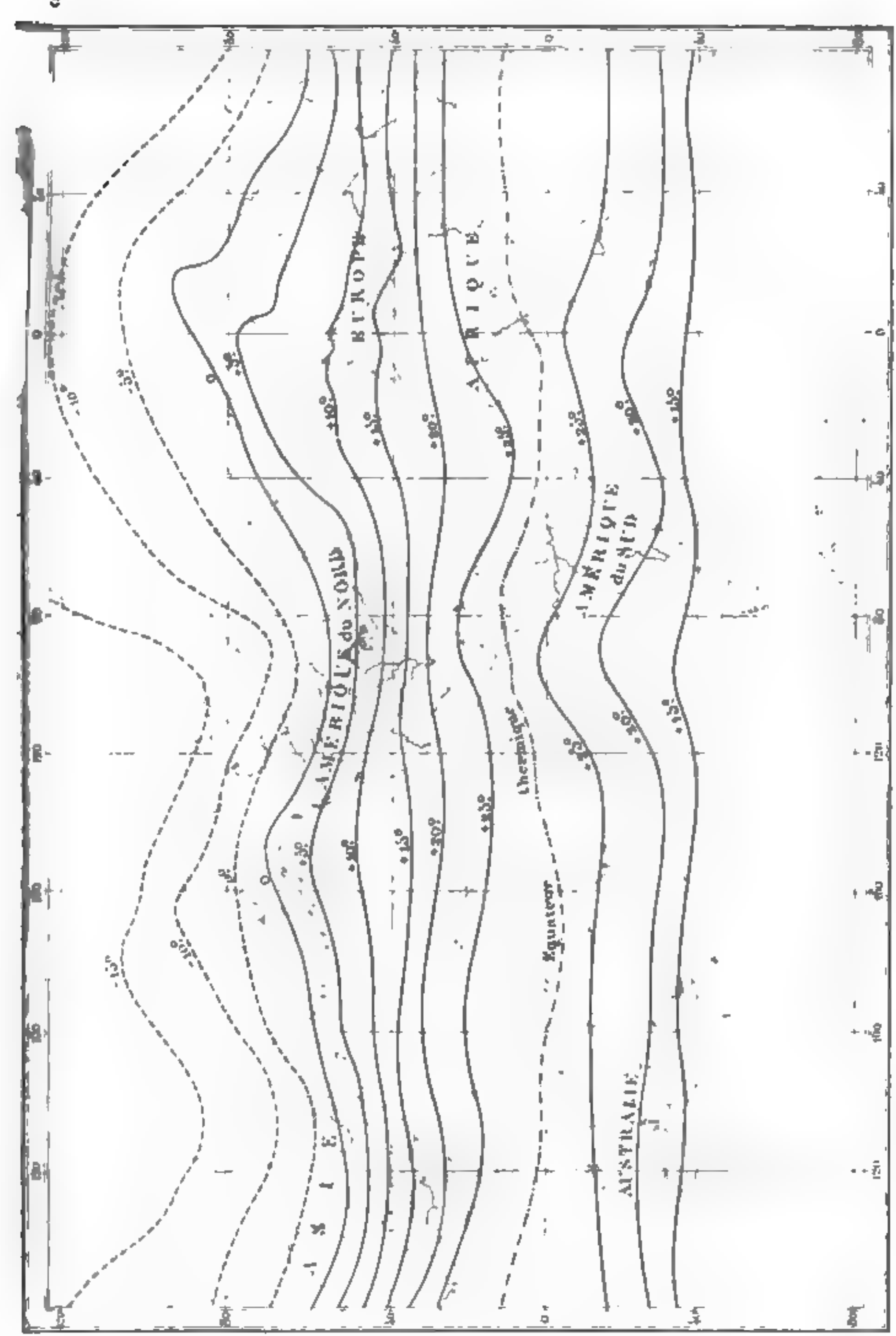
En tenant compte seulement de la forme de la terre, de l'obliquité de son axe de rotation sur le plan de l'écliptique et de l'influence générale exercée par l'atmosphère sur les échanges de chaleur entre la terre et les corps célestes, on a calculé approximativement la loi de la distribution des températures entre l'équateur et les pôles. Le calcul fait donne une température trop élevée aux régions équatoriales et une température trop basse aux régions polaires. Les différences montrent la véritable importance des influences perturbatrices et les points du globe où elles exercent particulièrement leur action. Par un système de compensation dont on trouve de fréquents exemples dans la nature, s'il est des régions dont la température moyenne est élevée aux dépens de la chaleur tropicale par les courants aériens ou marins, il en est d'autres, au contraire, où l'effet inverse est produit par les contre-courants, résultat nécessaire des courants directs.

La planche III nous donne une idée générale de la distribution des températures moyennes annuelles à la surface du globe.

De Humboldt eut le premier l'idée[1] de tracer sur la sphère

[1] *Mémoire sur les lignes isothermes et la distribution de la chaleur sur le*

 CARTE DES LIGNES ISOTHERMES



des lignes passant par les points où la température moyenne est la même. Ce travail réalisé par lui-même pour un grand nombre de lieux a été continué par les météorologistes, et en particulier par M. Dove, de Berlin; il se complète à mesure que les observations se multiplient. Sur la planche III sont figurées de 5 en 5 degrés les lignes d'égale température moyenne annuelle, ou ce que l'on nomme les *isothermes* (des mots grecs *isos*, égal, et *thermè*, chaleur). Pour construire ces courbes, on a réuni toutes les données qu'il a été possible de se procurer sur la température des divers lieux; puis après avoir corrigé ces températures de l'influence exercée sur elles par la hauteur des lieux d'observation au-dessus du niveau de la mer, on les a inscrites sur une carte, chacune en son lieu. C'est entre ces chiffres et en se guidant sur eux qu'on a pu tracer les isothermes.

Les isothermes sont, comme on voit, très-sinueuses. Chacune de leurs courbures a sa raison d'être dans les influences générales énumérées d'une manière sommaire dans le précédent chapitre et dans les premières pages de celui-ci. Nous constaterons d'abord qu'il existe aux alentours de l'équateur une zone dont la température moyenne annuelle est supérieure à 25°; elle est comprise entre les deux lignes marquées du même chiffre + 25. Nous trouvons, au contraire, dans l'hémisphère nord deux régions, l'une au nord de l'Amérique, l'autre au nord de la Sibérie, où la température moyenne annuelle est inférieure à 15 degrés au-dessous du point de fusion de la glace : ces régions sont limitées au sud par la courbe marquée — 15. Une région semblable se rencontre dans l'hémisphère austral et y est même plus étendue que dans le nôtre, mais ses limites sont encore assez mal connues. Entre les lignes extrêmes + 25 et — 15 embrassant une étendue de 40 degrés sur

globe, par Alexandre de Humboldt : *Mémoires de la Société d'Arcueil*, t. III, 1817, et *Mélanges de géologie et de physique générale*, par de Humboldt, 1853.

l'échelle thermométrique, nous avons tracé sept isothermes intermédiaires et de 5 en 5 degrés. Ces lignes sont très-rapprochées à la surface des continents et par suite la température moyenne y décroît rapidement de l'équateur aux pôles. L'abaissement du thermomètre est moins rapide à la surface des mers et sur les côtes qui les bordent, ainsi qu'on en peut juger par le plus grand écartement des isothermes sur ces régions.

Entre les isothermes de + 25° on remarque une ligne pointillée et désignée sur notre planche du nom d'*équateur thermique*. Ce n'est pas une isotherme, car la température moyenne n'est pas la même en tous ses points; mais elle passe par tous les lieux où la température de chaque méridien est maximum. Cette ligne s'écarte d'une manière notable de l'équateur terrestre, particulièrement sur les deux continents. Son élévation vers le nord, dans la mer des Antilles, est due à l'existence d'un grand courant marin qui transporte les eaux équatoriales de l'Atlantique dans les parages de ces îles, ainsi que nous l'exposons chap. v. Les déserts du Sahara, les déserts de l'Arabie et le développement de l'Asie méridionale transversalement située au nord de l'océan Indien, joints à l'existence, dans les régions équatoriales du Pacifique, d'un courant marin analogue à celui de l'Atlantique, produisent l'inflexion vers le nord que l'on remarque dans la direction de l'équateur magnétique à la surface de l'Afrique et des mers de l'Inde.

L'irrégularité des lignes isothermes devient de plus en plus prononcée à mesure que l'on s'avance vers le nord; elle paraît diminuer, au contraire, en s'approchant du pôle austral. Les terres sont peu étendues dans cette dernière portion de la surface du globe, tandis qu'elles prédominent sur le pourtour du pôle boréal.

On sera frappé sans doute de la configuration des isothermes qui, dans les latitudes moyennes, se relèvent toutes à la surface des deux océans et des terres voisines, mais particulièrement

sur les côtes ouest des continents d'Amérique et d'Europe.

Lorsque, après des tentatives éphémères en Islande et au Groënland, dit de Humboldt dans le *Cosmos* (t. I, p. 379), les habitants de la Grande-Bretagne fondèrent enfin sur le littoral des États-Unis d'Amérique, leurs premières colonies durables, les colons qui vinrent s'établir entre la Caroline du Sud et l'embouchure du fleuve Saint-Laurent, s'étonnèrent d'éprouver des hivers beaucoup plus froids que ceux de l'Italie, de la France et de l'Écosse placées sous les mêmes latitudes. Québec et Christiania sont en effet à peu près sur la même ligne isotherme de 5°, bien que la seconde ville soit à 12° plus au nord que la première. L'avantage en faveur des côtes ouest d'Europe est encore bien plus marqué pendant l'hiver. Ces inégalités, qu'on ne peut attribuer à la seule proximité des eaux, tiennent surtout aux courants établis à la surface des mers et dans l'atmosphère. Ces courants produits par l'inégale répartition des températures de l'équateur aux deux pôles, réagissent à leur tour sur ces températures.

En négligeant pour le moment les sinuosités des isothermes pour n'envisager que leur succession de l'équateur aux deux pôles, on comprend que l'équilibre et le repos soient impossibles dans l'air et dans l'eau. Or ces inégalités se trouvent encore exagérées à certaines époques de l'année, en particulier pendant l'hiver de chaque hémisphère, d'autres se produisent périodiquement chaque jour à des degrés variables suivant les lieux, les saisons, l'état du ciel, etc. Les troubles de l'atmosphère sont plus profonds dans nos climats pendant l'hiver que pendant l'été, et dans cette dernière saison leur gravité, limitée à des localités peu étendues, est surtout produite par l'intervention d'un agent spécial, l'électricité.

§ V. — Variations annuelles de température.

L'excès de chaleur que possèdent les régions équatoriales, tient à ce que l'obliquité moyenne des rayons solaires y est à son minimum. Le soleil se déplaçant annuellement, tantôt vers le nord tantôt vers le sud, la région à température maximum doit se déplacer dans le même sens, sinon de quantités égales. Les changements sont cependant peu prononcés dans les régions intertropicales, parce que les positions extrêmes du soleil à l'heure de midi y sont peu écartées du zénith, et que les jours y conservent à très-peu près la même longueur du lever au coucher du soleil ; aussi, les saisons s'y distinguent-elles bien plus par l'inégalité des pluies que par l'inégalité des températures. Il n'en est plus de même aux latitudes élevées ; le soleil y descend très-bas pendant l'hiver, et les jours y ont des durées très-variables avec les saisons. Au delà du cercle polaire, le soleil ne se couche même pas en été, mais par contre il ne s'y lève plus en hiver.

La figure 15 dont les éléments ont été calculés par M. Dove[1], donne une idée générale de l'influence de la latitude sur la variation annuelle du thermomètre à la surface des mers. Dans cette figure, les divers mois sont représentés par un égal nombre de lignes verticales et par la première lettre de leur nom. Le mois de décembre par lequel commence d'ordinaire l'année météorologique se trouve répété à gauche et à droite du tableau, afin de limiter les 12 intervalles mensuels. Sur chaque ligne verticale, nous avons pris une longueur proportionnelle à la température moyenne du mois correspondant, et nous avons joint par une courbe continue les extrémités de toutes ces longueurs. Chaque division horizontale correspond du reste à un

[1] *Die Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche....* Berlin, 1852.

degré, et les degrés eux-mêmes sont marqués de cinq en cinq. On peut donc non-seulement juger, d'après les sinuosités des courbes, de la marche générale de la température aux lieux correspondants, mais encore chiffrer sa valeur pour chaque mois.

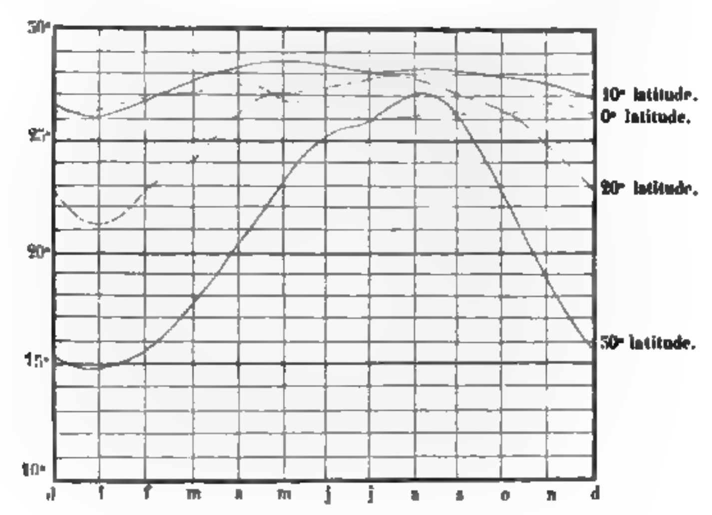


Fig. 15. — Variations mensuelles de la température moyenne dans la partie nord de la zone torride.

De l'équateur à 10 degrés de latitude nord, les températures moyennes des divers mois varient à peine de deux ou trois degrés. L'oscillation est plus marquée à 20° nord, plus encore à 30°, et son amplitude augmente ainsi jusque dans le voisinage des pôles. Tandis que les courbes sont très-rapprochées l'une de l'autre pendant le mois d'août, on les voit s'écarter de quantités qui atteignent à 11 degrés dans le mois de janvier.

En regard de ces résultats généraux, nous plaçons dans la figure 16 les résultats obtenus en quatre lieux différents compris dans la partie nord de la zone intertropicale. Ces lieux sont : Kouka dans le Soudan en Afrique, Calcutta dans l'Asie méridionale, Mexico dans l'Amérique centrale, et Hawaï dans l'océan Pacifique. A Hawaï, la température moyenne mensuelle ne varie que de 5° (de 21° à 26°) de l'hiver à l'été ; à Mexico, la variation

est d'environ 8° (de 11° à 19°) ; à Calcutta et à Kouka, la variation est d'une douzaine de degrés ; nous la verrons tout à l'heure dépasser 40 degrés.

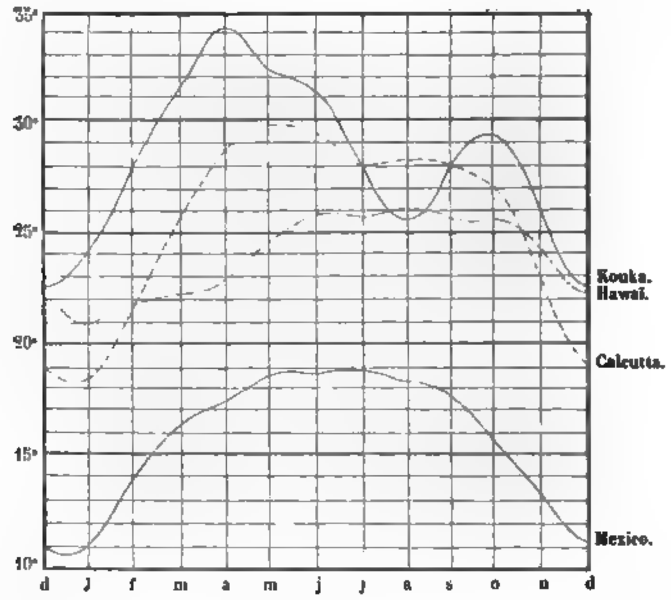


Fig. 16. — Variations mensuelles de la température moyenne à Kouka, Hawaï, Calcutta, Mexico.

La température peu élevée de Mexico, malgré le voisinage de l'équateur, tient à la grande hauteur de cette ville au-dessus du niveau de la mer. L'uniformité de la température à Hawaï provient de ce que cette île est peu étendue et perdue au milieu d'un vaste océan. A Calcutta, la courbe commence à présenter dans les mois chauds une inflexion qui devient très-caractérisée à Kouka. Cet abaissement de la température estivale est bien plus le résultat des pluies que d'une variation correspondante dans l'activité des rayons solaires par l'effet de leur obliquité.

La figure 17 nous transporte dans la zone glaciale. La terre de Boothia Félix est située dans le nord de l'Amérique septentrionale, au delà du 72° degré. Matotschkin est encore un peu plus rapproché du pôle, mais dans la Nouvelle-Zemble, aux extré-

mités nord de la Russie d'Europe. A ces hautes latitudes, le jour se prolonge à peu près sans interruption pendant des mois entiers ; pendant des mois aussi la nuit n'est interrompue que par

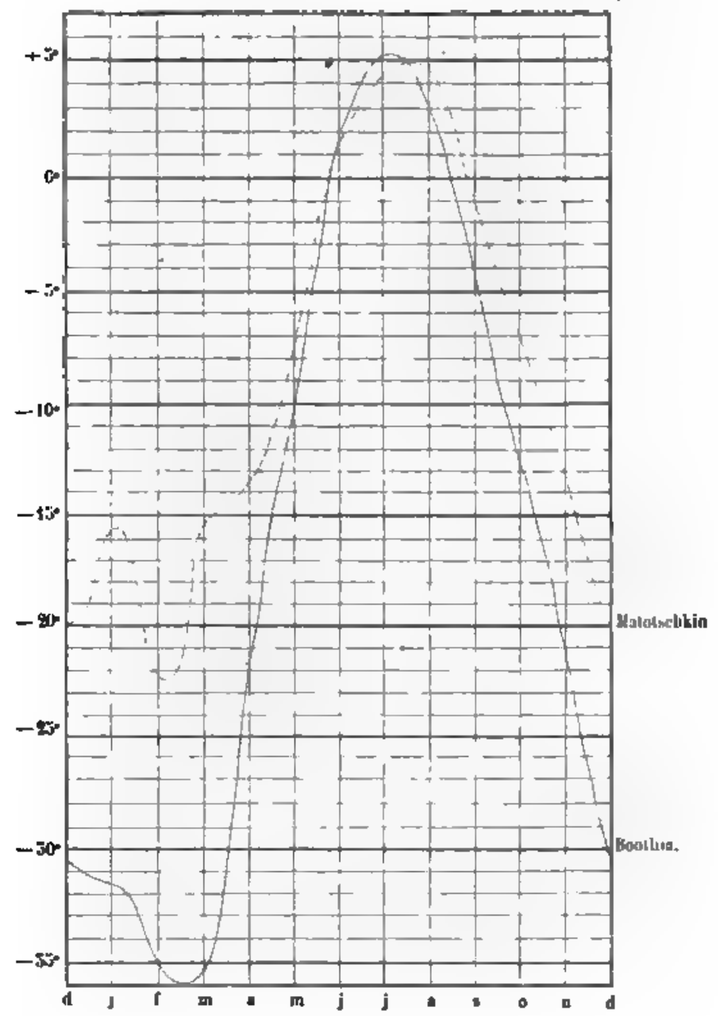


Fig. 17. — Variations mensuelles de la température moyenne à Matotschkin et à Boothia Félix.

de longs crépuscules ou par l'éclat phosphorescent des aurores boréales. Durant ces longues périodes, la présence continue du

soleil au-dessus de l'horizon pendant l'été compense, en partie du moins, la grande obliquité de ses rayons; tandis que pendant l'hiver rien ne vient réparer les pertes dues au refroidissement nocturne. Aussi, quand on se rend de l'équateur vers les pôles,

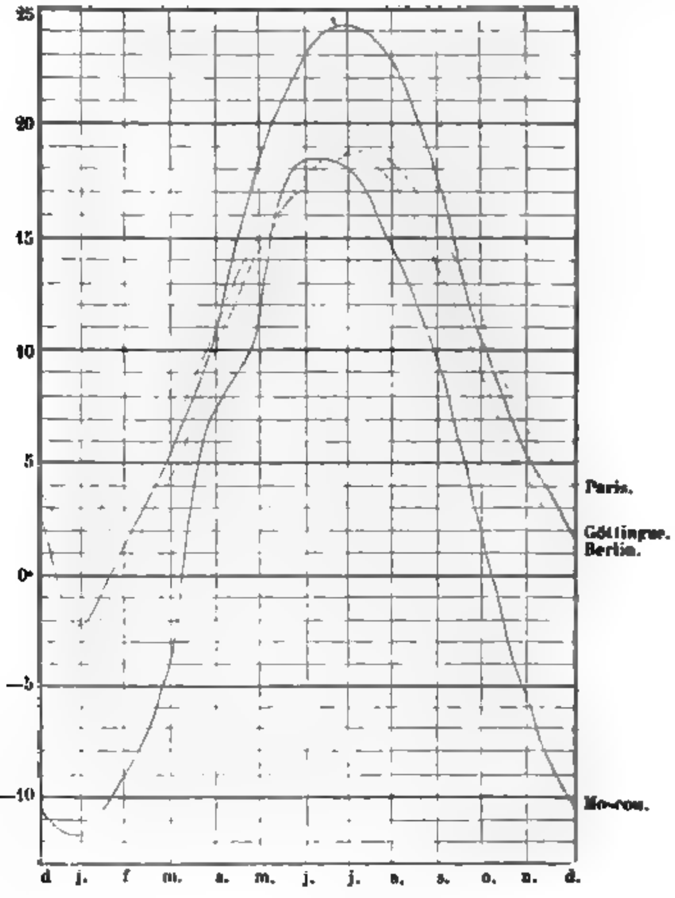
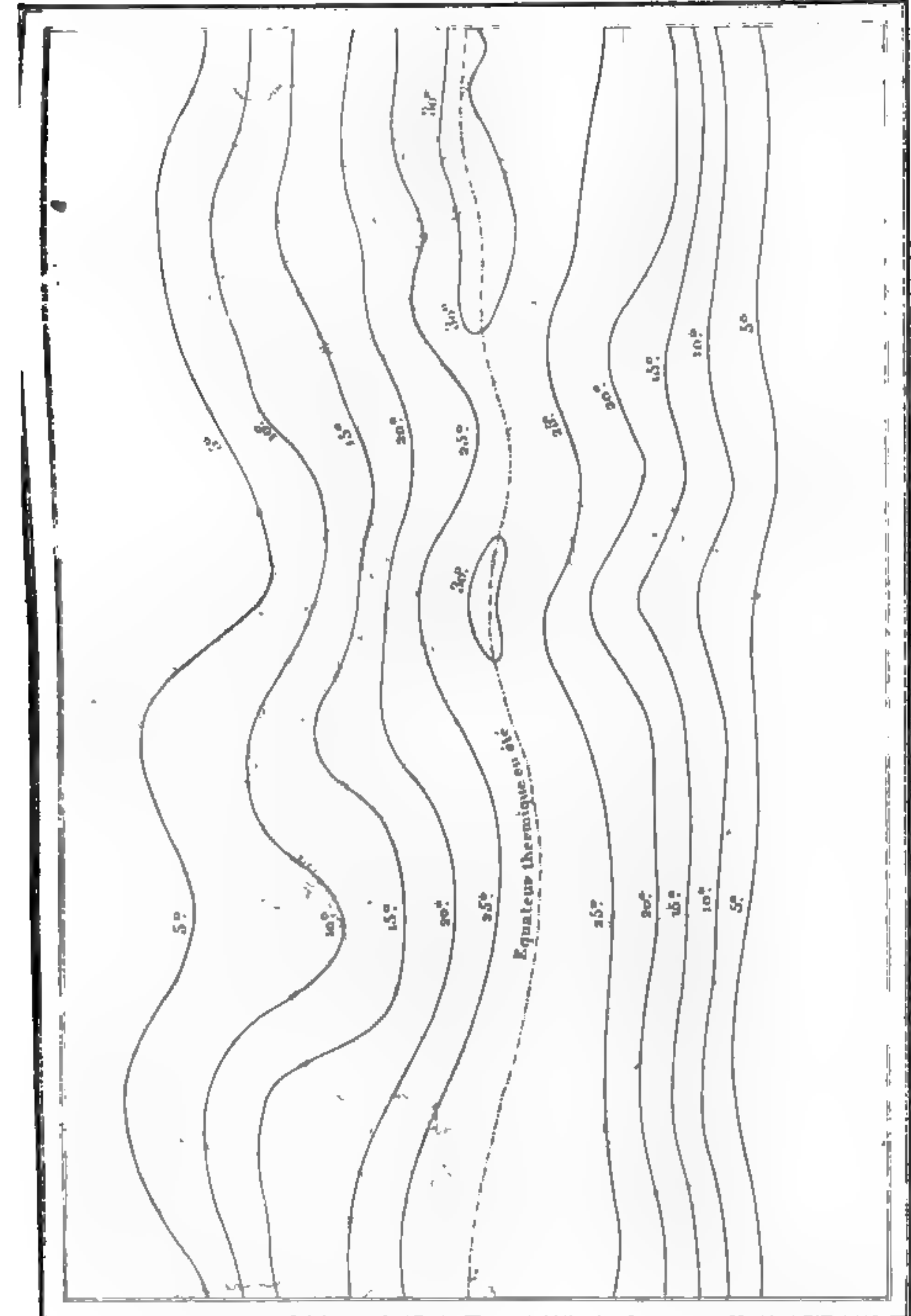


Fig. 18. — Variations mensuelles de la température à Paris, Göttingue, Berlin et Moscou.

ce qui frappe, ce n'est pas tant l'abaissement des températures extrêmes de la saison chaude que le raccourcissement graduel de cette saison, l'allongement progressif de la saison rigoureuse et l'âpreté de plus en plus grande des froids de l'hiver.


Equateur thermique en été
5°
10°
15°
20°
25°
30°

La température moyenne du mois de juillet ou du mois d'août est encore d'environ 5 degrés à Boothia et à Matotschkin ; mais à Matotschkin, située dans les eaux de l'Atlantique nord, la température moyenne du mois de février descend à 22 degrés de froid, et à Boothia, loin des mers ouvertes, elle descend à 36 degrés au-dessous de la congélation de l'eau.

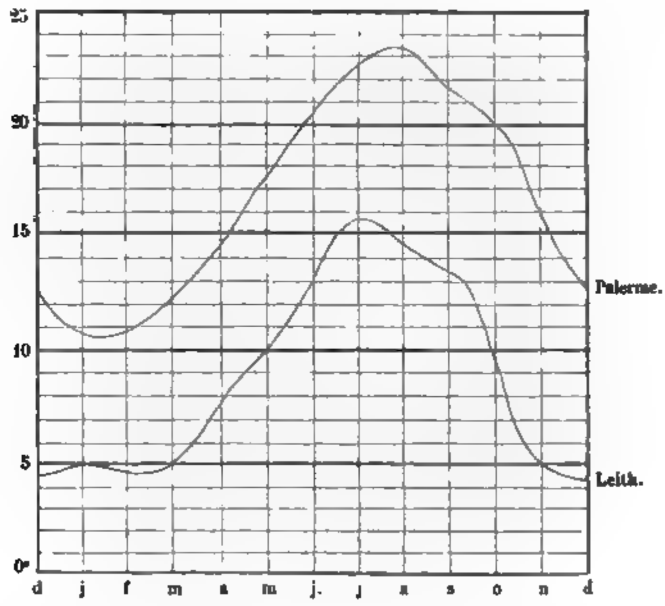


Fig 19. — Variations mensuelles de la température à Palerme et à Leith.

Des exemples intermédiaires entre ces régions glacées et la zone équatoriale nous sont présentés par les figures 18 et 19. Dans la première nous avons réuni les courbes des températures de quatre villes situées à des latitudes peu différentes, mais à des distances très-inégales des mers : ce sont Moscou, Berlin, Göttingue et Paris. L'amplitude de l'oscillation annuelle dépasse 30 degrés à Moscou ; à Paris, elle est inférieure à 17 degrés, et cependant les mois d'été sont également chauds dans ces deux villes.

Dans la figure 19, au contraire, nous trouvons deux villes, Palerme en Sicile et Leith en Écosse, dont les latitudes sont très-

inégales, mais que les eaux de la mer entourent à peu de distance. Les deux courbes sont à peu près parallèles; les températures de l'hiver et de l'été y diffèrent de quantités presque égales.

Les courbes des figures 15, 16, 17, 18 et 19 ont été tracées d'après les moyennes de plusieurs années d'observation dans chaque localité; elles peuvent donc différer d'une manière no-

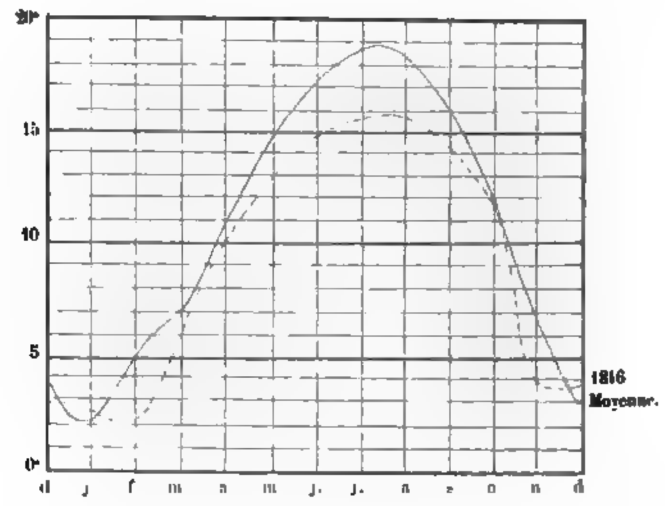


Fig. 20. — Variations mensuelles de la température moyenne, déduite de 20 années, à Paris, comparées aux variations de l'année 1816.

table de la courbe d'une année prise en particulier. La figure 20 nous en fournit un exemple. Nous y avons figuré, à côté de l'année moyenne à Paris, l'année 1816 qui a été des plus défavorables à l'agriculture. Pendant presque toute la durée de cette année mémorable, la température mensuelle a été inférieure à sa valeur moyenne et la différence a été sensible surtout pendant la saison chaude. Quant à l'explication de ce fait, nous la trouverons dans une répartition anormale de pluies dont l'abondance n'offre rien d'ailleurs de bien extraordinaire. Cette anomalie dans le régime des pluies a elle-même sa cause dans un changement notable opéré dans la direction des courants aériens et marins à la surface de l'Atlantique, ainsi que nous le verrons plus loin.

L'inégale amplitude des variations de la température dans les diverses régions du globe, pendant le cours de chaque année, doit amener des modifications profondes dans le tracé des isothermes. La planche III (page 84) représente seulement un état moyen autour duquel oscillent les divers états successifs. L'examen des courbes mensuelles peut déjà donner un aperçu de ces oscillations d'un mois ou d'une saison à l'autre. Les planches IV et V permettront d'envisager les faits dans leur ensemble. Nous y avons tracé, d'après Berghaus, Humboldt, Dove, etc., les lignes *isothères* ou d'égale température moyenne de l'été, et les lignes *isochimènes* ou d'égale température moyenne de l'hiver.

Pendant notre été, toutes les lignes isothermes se relèvent vers le nord. Ce mouvement est généralement peu étendu à la surface des océans, il prend, au contraire, beaucoup d'ampleur sur les continents, particulièrement aux latitudes élevées. Le phénomène inverse est encore plus fortement accusé pendant l'hiver. La comparaison entre l'Amérique et l'Europe est frappante par les oppositions qu'elle révèle.

La carte des isothermes, planche III, montre déjà que le nouveau continent est beaucoup plus froid que l'Europe ; les planches IV et V font ressortir le caractère particulier des différences qu'on y remarque. Cuba et le Mexique méridional sont traversés par l'isothère de 30° et l'isochimène de 20°. Les États du Sud de l'Union américaine, le Texas, le Mississipi, l'Alabama, la Géorgie, la Caroline du Sud, sont traversés par l'isothère de 25° et l'isochimène de 10° : la température estivale n'a baissé que de 5°, celle de l'hiver a baissé de 10°. Les lacs Érié et Ontario et la Nouvelle-Écosse sont traversés par l'isothère de 20° et par l'isochimène de 5° au-dessous de zéro, et, tandis que la température estivale n'a diminué que de 10°, la température de l'hiver a baissé de 25° depuis notre point de départ dans le golfe du Mexique. Dans la Nouvelle-Galles du Sud, les températures moyennes de l'été et de l'hiver oscillent entre + 5° et — 30° ;

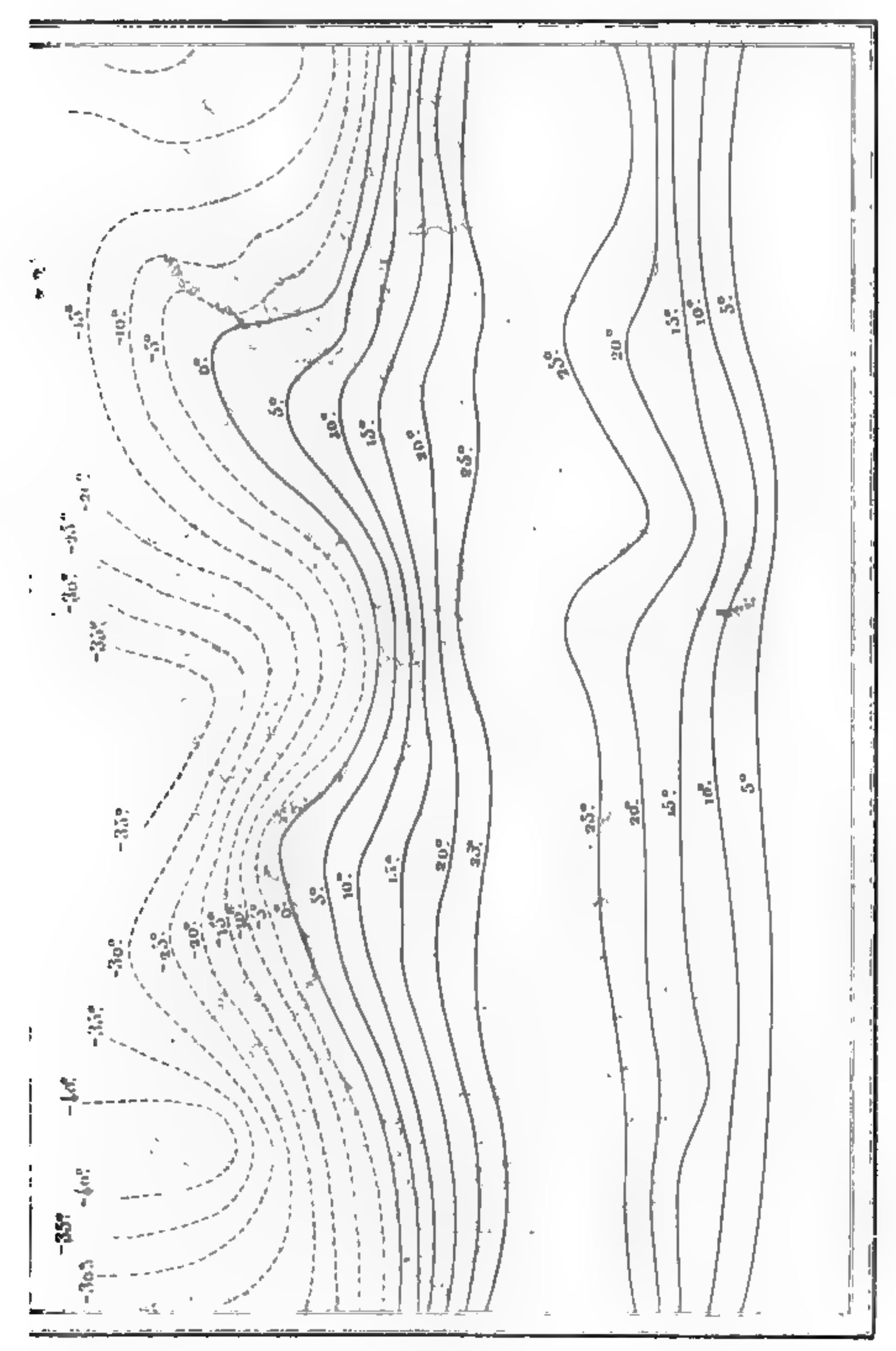
aux mêmes latitudes du nord de l'Écosse ou du sud de la Norwége, les moyennes températures oscillent entre 13° ou 14° et 0°.

On se tromperait toutefois beaucoup si l'on étendait à toute l'Amérique du Nord cette âpreté du climat des bords de l'Hudson. Les courbes isochimènes se relèvent fortement sur l'est et particulièrement sur l'ouest du continent dont le climat se rapproche beaucoup plus du nôtre. Il se produit d'ailleurs sur l'Europe et l'Asie un mouvement des courbes thermométriques du même ordre que sur l'Amérique. Dans la province de Yakoutsk les moyennes températures de l'été et de l'hiver varient de 12° ou 13° à — 35°. L'oscillation y est encore plus grande que sur l'Amérique, parce que l'ancien continent est encore plus étendu que le nouveau autour du pôle nord.

Nous avons réuni dans la figure 21 les trois systèmes de courbes thermométriques, en nous limitant à l'Europe afin de leur donner plus d'espace.

L'isotherme correspondant à la température moyenne annuelle de 10 degrés par exemple, longe le sud de l'Irlande, traverse l'Angleterre, la Hollande, la Prusse, descend au nord des Carpathes, de la Crimée, du Caucase, coupe le nord de la mer Caspienne...

La même ligne, dans l'été, se trouve reportée vers le nord d'une dizaine de degrés en latitude; son déplacement est toutefois beaucoup plus considérable dans l'intérieur du continent que sur les côtes ouest. L'isotherme de l'été passe en effet audessous de l'Islande ; de là elle remonte en Laponie et passe au nord d'Arkhangel. Un effet inverse a lieu pendant l'hiver et l'isotherme de cette saison traverse le centre de l'Espagne dans la direction du nord-ouest au sud-est, passe au sud des îles Baléares et de la Sardaigne, traverse les Calabres, la Grèce et l'Asie Mineure. De l'été à l'hiver, l'isotherme de 10 degrés thermométriques parcourt donc en latitude une vingtaine de degrés


-15°
-10°
-5°
0°
5°
10°
15°
20°
25°
25°
20°
15°
10°
5°
-20°
-25°
-30°
-35°
-35°
-30°
-25°
-20°
-15°
-10°
-5°
0°
5°
10°
15°
20°
25°
25°
20°
15°
10°
5°
-35°
-40°
-40°
-35°
-30°

seulement à la surface de l'Atlantique, et près de trente degrés à la surface de l'Europe.

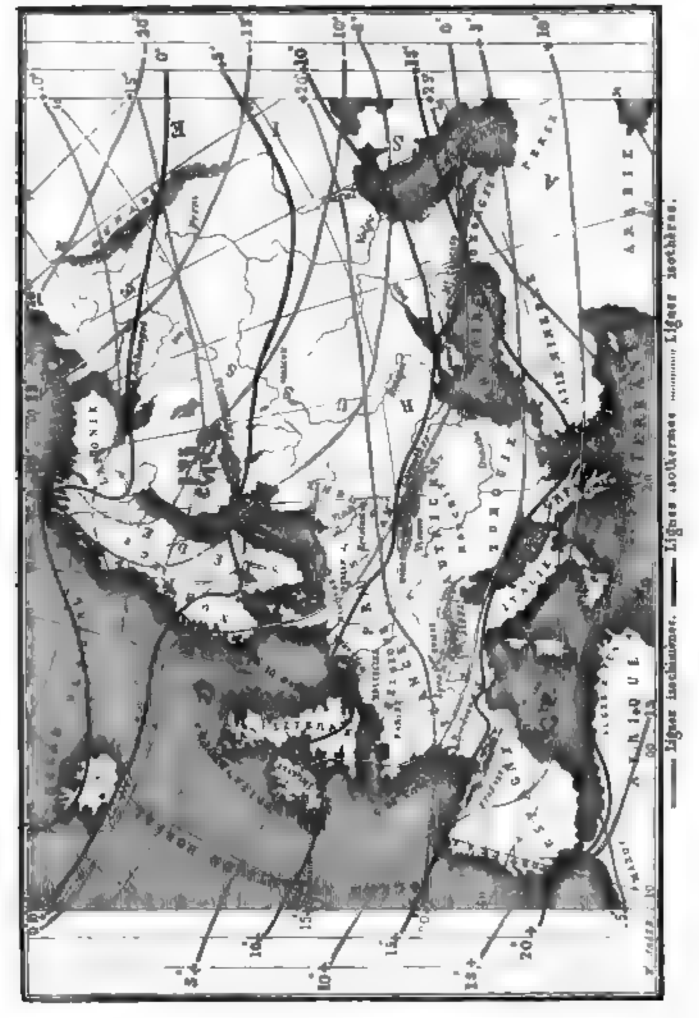


Fig. 21.

Les températures moyennes de l'été et de l'hiver varient environ :

De 25° à 15° dans le royaume de Fez ;
De 20° à 5° sur les côtes ouest de France ;

De 15° à 5° sur les côtes Est de l'Irlande;
De 15° à 0° sur les côtes Sud de la Norwége;
De 10° à 0° sur les côtes Sud de l'Islande;
De 20° à 0° sur les centres Est de l'Allemagne;
De 20° à — 05° dans la Wolhynie;
De 15° à — 10° à Saint-Pétersbourg.

Pendant l'hiver, les différences entre les températures moyennes de l'équateur et des régions polaires de l'Amérique et de l'Asie, atteignent 60 ou 70 degrés.

§ VI. — Variations diurnes de température.

La période diurne, beaucoup moins prolongée que la période annuelle, donne cependant lieu à des variations analogues dans les températures successives.

L'observation continue du thermomètre, pendant la nuit comme pendant le jour, serait évidemment impraticable si on ne faisait pas usage d'appareils d'enregistrement automatiques. Ces appareils donnent, avec une approximation généralement suffisante, la marche quotidienne du thermomètre; mais il serait difficile d'accorder une entière confiance à leurs indications absolues. Ils ne dispensent donc pas de l'observation directe d'un thermomètre ordinaire, ils dispensent seulement d'observations trop rapprochées. Plusieurs météorologistes, isolés ou réunis, se sont cependant astreints à lire le thermomètre à chaque heure du jour et pendant une période de temps plus ou moins longue; tels sont Ciminello de Padoue, les officiers d'artillerie du fort de Leith près d'Édimbourg, Gatterer à Göttingue, Kämtz à Halle, etc. Leurs observations montrent une grande concordance dans la marche générale de la température, en sorte qu'il suffit d'un petit nombre d'observations quotidiennes faites en un lieu, pour que l'on puisse en déduire la série des

températures intermédiaires et la température moyenne. Il est nécessaire seulement de choisir convenablement ses heures d'observation[1].

Tous les résultats obtenus indiquent un *maximum* et un *minimum* de température diurne. En moyenne, le minimum a lieu une demi-heure avant le lever du soleil, un peu plus en hiver, un peu moins en été. Le maximum a lieu vers deux heures de l'après-midi, un peu plus tôt en hiver, un peu plus tard en été. Un fait semblable s'est présenté dans la période annuelle. Le maximum moyen de la chaleur a lieu vers le 15 juillet, alors que le soleil commence depuis plus de trois semaines à retourner vers l'hémisphère austral. Le minimum moyen tombe vers le 15 janvier, lorsque déjà les jours se sont notablement agrandis. C'est le résultat naturel des explications précédentes. La température cesse de monter, non pas lorsque l'intensité des rayons solaires commence à faiblir, mais lorsque l'afflux de chaleur cesse de surpasser la déperdition qui s'en fait. Au milieu du jour ou au solstice d'été, le gain surpasse la perte, la température monte. La perte continue donc à croître lorsque déjà le gain faiblit peu à peu. L'égalité s'établit bientôt entre eux : c'est l'heure du maximum. Plus tard la perte l'emporte et la température baisse. Les mêmes effets ont lieu en sens inverse pour les minimums.

Nous donnons dans la figure 22 quelques exemples de ces variations diurnes de la température. Nous avons choisi les mois extrêmes de janvier et juillet. L'heure du maximum de température varie peu dans ces exemples, et on comprend qu'il en doive être ainsi ; l'heure du minimum, au contraire, suit les heures du lever du soleil. On remarquera, d'un autre côté, que l'am-

[1] Des séries analogues faites de 3 en 3 heures sont actuellement entreprises dans les écoles normales primaires de l'empire ; et dans plusieurs de ces établissements les séries sont prolongées pendant la nuit, de manière à embrasser la période complète des vingt-quatre heures.

plitude de l'oscillation diurne est plus forte dans les pays chauds et dans l'intérieur des continents que dans les pays froids ou dans le voisinage des côtes. A part l'influence des mers, qui reste à peu près la même, la distance de l'équateur agit d'une manière

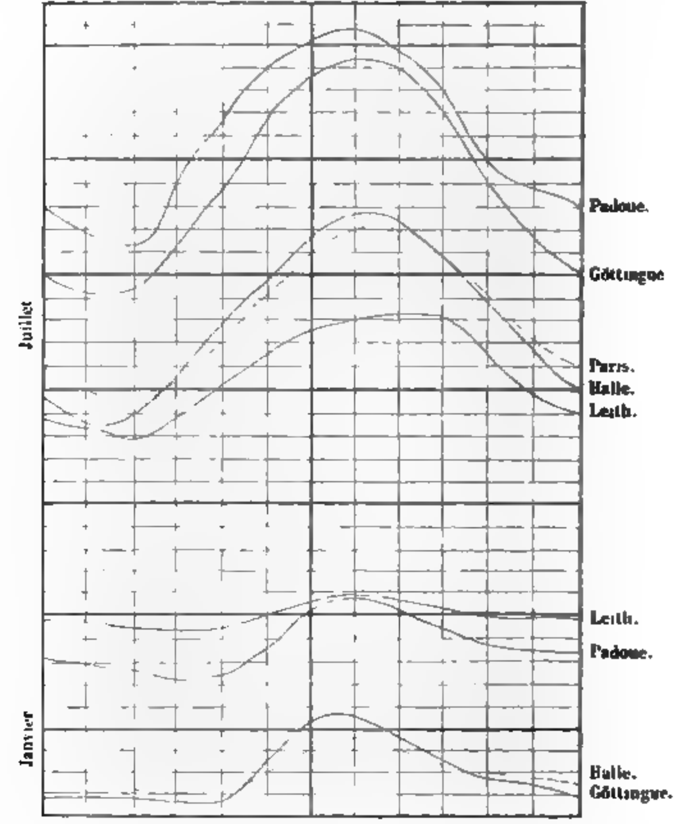


Fig. 22. — Variations horaires de la température moyenne à Padoue, Göttingue, Paris, Halle, Leith, pendant les mois de juillet et de janvier.

opposée sur les oscillations annuelle et diurne du thermomètre. L'oscillation annuelle augmente à mesure que l'on se rapproche du pôle : c'est un effet de la longueur des nuits d'hiver et des jours d'été. L'oscillation diurne augmente, au contraire, en se rapprochant de l'équateur dans l'intérieur des continents : c'est le résultat de l'ardeur des rayons solaires pendant

le jour et la grande pureté du ciel pendant les nuits tropicales, pureté qui rend très-actif le refroidissement nocturne.

§ VII. — **Variations de la température avec la hauteur.**

Si la température de la surface terrestre baisse de l'équateur aux pôles, elle baisse bien plus rapidement encore à mesure que le sol s'élève au-dessus du niveau des mers. Un effet semblable se produit dans l'atmosphère elle-même.

L'absorption de la chaleur et de la lumière par l'air est d'autant moindre que cet air est plus sec, plus rare, et que l'épaisseur de la couche traversée est moindre. Dans les hautes régions, le ciel est d'un bleu plus foncé que dans les plaines, les rayons solaires sont plus vifs, plus ardents; mais, par contre, l'air oppose une moindre résistance au passage des rayons émanant de la terre. Celle-ci, moins efficacement protégée contre le froid des espaces planétaires, atteint des températures de plus en plus basses à mesure quelle forme des saillies plus élevées.

Il existe dans l'air même une autre cause du froid des hautes régions, et cette cause domine toutes les autres en même temps qu'elle rend compte de la persistance de ce froid malgré l'action des tempêtes qui tendent à mélanger toutes les couches de l'atmosphère. Toute masse d'air qui monte gagne des régions où la pression barométrique diminue; cet air moins comprimé se dilate, et, par le fait seul de cette expansion, une partie de sa chaleur est consommée par le travail moléculaire qui se produit en lui : sa température baisse. Toute masse d'air qui descend gagne des régions où la pression barométrique augmente ; son volume diminue, et par le fait seul de cette contraction, la chaleur consommée

dans le travail d'expansion antérieure est restituée, et la température monte. M. Espy, puis M. Peslin, ont démontré que le changement de température résultant de la chaleur ainsi consommée et restituée peut varier de 1 à 2 degrés pour un changement de niveau de 200 mètres seulement. C'est ainsi que certains vents descendant des cimes neigeuses des Alpes ont dans le fond des vallées un degré de chaleur assez élevé pour qu'on croie voir en eux le prolongement des vents des déserts de l'Afrique. C'est ainsi, encore, que les neiges perpétuelles se rencontrent jusque sous la zone torride; seulement, tandis qu'en Norvége, sous une latitude de 71 degrés nord, on les trouve à une hauteur de 720 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans les Alpes et les Pyrénées elles ne descendent pas au-dessous de 2700 mètres, et qu'à Quito, sous l'équateur, elles sont à 4800 mètres.

La décroissance de la température dans le sens de la hauteur a été constatée par toutes les expériences faites durant les heures du jour et de la nuit. Sa rapidité n'a pas été trouvée constante : L'heure, la saison, l'état du ciel, la direction des vents, l'inégale quantité de la vapeur d'eau : tous ces éléments sans cesse changeants produisent les oscillations qu'on y remarque. Plus la décroissance est lente, plus l'équilibre de l'atmosphère est stable. Une décroissance très-rapide en été précède en général les plus violents orages.

Le physicien Charles, dans la première ascension exécutée en ballon à gaz hydrogène, en 1785, éprouva une température de 7 degrés au-dessous de 0°. Gay-Lussac, dans le célèbre voyage qu'il fit le 16 septembre 1804, trouva à une hauteur de 7000 mètres un froid de près de 10 degrés : dans la cour de l'Observatoire de Paris, d'où il était parti, le thermomètre marquait 28 degrés. L'abaissement de température se trouvait donc de 38 degrés environ, ce qui donnait un abaissement moyen de 1 degré par 190 mètres d'éléva-

tion. Mais, ainsi que le fait observer Biot, le décroissement n'avait pas été uniformément réparti dans l'intervalle parcouru. Dans les premières couches traversées, il n'avait guère été que de 1° par 196 mètres; mais, dans la dernière, une hauteur de 156 mètres seulement suffisait à produire le même abaissement. Un effet encore plus marqué se présenta dans l'ascension opérée par MM. Barral et Bixio le 26 juillet 1850. A la hauteur de 7000 mètres environ, la température fut trouvée inférieure à 39° au-dessous de zéro. Par ce froid extraordinaire pour la saison et pour cette hauteur relativement faible, les thermomètres n'indiquaient plus rien, leur graduation n'ayant pas été faite en prévision d'un abaissement de température que les ascensions antérieures ne faisaient pas prévoir. L'abaissement se fit, du reste, sentir très-brusquement pendant la traversée d'un nuage dont l'épaisseur fut évaluée à 5000 mètres au moins, et formé presque exclusivement par de petites aiguilles de glace.

De Saussure passa dix-sept jours au col du Géant dans les Alpes, à une hauteur de 3428 mètres au-dessus de la mer, tandis que l'on observait simultanément le thermomètre à Chamounix (1044^{m}) et à Genève (407^{m}). Cette longue série d'expériences a permis de constater d'assez grandes variations dans la décroissance d'un jour à l'autre et même d'une heure à l'autre de la même journée. La hauteur moyenne correspondante à une différence de un degré dans les températures simultanées a été trouvée de 142 mètres à 5 heures du soir et de 210 mètres à 4 heures du matin.

Aux divers mois de l'année, on trouve des différences analogues entre Genève et le Grand Saint-Bernard. En janvier, la hauteur correspondante à une diminution de 1° dans la température est de 270 mètres en moyenne; elle descend en juin à 176 mètres, nouvelle preuve que l'échauffement en été comme au milieu du jour porte surtout sur les couches inférieures.

Le phénomène varie peu, au contraire, avec les saisons dans

les régions équatoriales, parce que les saisons y sont peu tranchées; mais il change suivant les lieux. Dans l'Amérique du Sud, de Humboldt a trouvé un abaissement de 1° par 191 mètres dans les montagnes, et par 245 mètres sur les plateaux. Pour obtenir un même abaissement du thermomètre, il faut monter de 177 mètres dans l'Inde méridionale, et de 227 mètres dans le nord de l'Indoustan.

En été, quand le ciel est dégagé de nuages, la température décroît d'abord rapidement à mesure qu'on s'élève, puis la décroissance se ralentit graduellement. Les nombreuses ascensions faites par MM. Welsh et Glaisher, aux frais de la Société royale de Londres, indiquent, au contraire, quand le ciel est nuageux, que la température s'abaisse d'ordinaire jusqu'à la hauteur des nuages; mais qu'au-dessus de la couche formée par eux la température se relève de quelques degrés pour décroître au delà.

Les résultats ont encore été tout autres dans l'ascension faite par M. Glaisher dans la nuit du 2 octobre 1865, par un ciel très-pur et un vent d'Est-Sud-Est modéré; la température a été constamment en montant depuis la surface du sol jusqu'à la hauteur de 300 mètres, à laquelle le ballon s'est élevé. L'ascension avait commencé à 6 heures 20^{m}, trois quarts d'heure après le coucher du soleil; la descente s'est effectuée à 8 heures 20^{m}. D'autres expériences poussées antérieurement par M. Glaisher jusqu'à une hauteur de 700 mètres n'avaient pas indiqué de changement appréciable, vers le coucher du soleil, entre la température du sol et celle des régions peu élevées de l'atmosphère. L'opposition dans les résultats obtenus à ces différentes heures tient au rapide échauffement du sol sous l'action des rayons solaires et à son refroidissement aussi rapide lorsque l'influence du soleil fait défaut. L'air subit des alternatives de chaleur analogues, mais moins prononcées.

Jamais, du reste, la variation de température avec la hauteur n'est absolument régulière; on trouve presque toujours dans

l'atmosphère des couches d'air relativement chaudes dont l'épaisseur varie de 300 à 3000 mètres, et dont l'excès de température peut aller de 1 à 10 degrés. On les rencontre jusqu'à une hauteur de 5 ou 6 kilomètres.

Si nous insistons autant sur ces chiffres, c'est que la décroissance de la température de l'atmosphère joue un rôle des plus importants dans la formation des nuages et des pluies et même dans les variations brusques et accidentelles de la température à la surface du globe. Les vents, en effet, quand ils sont réguliers, peuvent transporter d'une région à l'autre d'énormes masses d'air sans trop les mélanger entre elles. L'atmosphère se meut alors pour ainsi dire en bloc. Mais les mouvements tournants ont, au contraire, pour effet de faire descendre l'air des couches supérieures à la surface du sol. Le froid qui succède au passage des bourrasques est dû principalement au froid des couches élevées de l'atmosphère.

§ VIII. — Causes locales ou accidentelles des variations de température.

Les causes locales ou accidentelles modifiant la répartition des températures à la surface du globe sont déjà connues en partie par ce qui précède.

A latitude égale, les hauts plateaux sont toujours plus froids que les plaines basses; les terres et les mers sont alternativement plus chaudes et plus froides les unes que les autres; ces différences de chaleur produisent dans l'atmosphère des courants doués quelquefois d'une grande énergie. Ces brises, à leur tour, en transportant l'air d'une région à une autre ou en mélangeant les couches de l'atmosphère modifient la température des lieux où elles passent.

Partout où l'évaporation est active ou la végétation abondante,

il se fait une grande consommation de chaleur et la température s'en trouve abaissée. Les déserts de l'Arabie sont les lieux les plus chauds du globe, parce que dans ces déserts la végétation et l'évaporation sont presque nulles, que le terrain sablonneux a une faible capacité calorifique et conduit mal la chaleur. La chaleur y est donc tout entière employée à échauffer le sol et l'air qui le recouvre.

La chaleur absorbée pendant l'évaporation reparaît tout entière quand la vapeur se condense en eau. Mais ce retour ne se fait jamais aux lieux mêmes où l'évaporation s'est produite. La vapeur formée à la surface du sol ou des mers va porter sa chaleur à d'autres latitudes ou dans les régions élevées de l'atmosphère qu'elle échauffe.

L'atmosphère et les mers sont sans cesse traversées par des courants opposés : les uns dirigés de l'équateur vers les pôles, les autres des régions polaires vers l'équateur. Les premiers réchauffent tout sur leur passage ; les autres, au contraire, abaissent la température des lieux qu'ils traversent. Leur distribution est une cause de la grande diversité des climats.

Les nuages condensés par les vents ou charriés par eux nous enlèvent la chaleur des rayons qu'ils interceptent ; mais aussi ils forment un obstacle au refroidissement du sol auquel ils se substituent en présence des espaces planétaires. Ils égalisent les températures du jour à la nuit, de l'hiver à l'été ; or, la répartition des nuages est fort inégale à la surface du globe : certaines régions en sont abondamment pourvues, d'autres en sont obstinément dégarnies.

La pluie, la neige ou la grêle forment une communication entre les hautes et les basses régions de l'atmosphère. Elles participent de la température des couches d'air où elles se sont formées. L'une et l'autre, en donnant plus d'eau à la terre, favorisent l'évaporation ultérieure et, par suite, l'enlèvement d'une quantité correspondante de chaleur ; la neige et la grêle en ab-

sorbent en fondant. Dans nos climats cependant, l'abaissement de température qui en résulte est surtout marqué pendant l'été. L'hiver, une élévation de température accompagne souvent la neige et presque toujours la pluie. Cette inversion est un effet de l'action spéciale des vents suivant leur origine. Ces vents, surtout dans nos climats tempérés, sont la cause la plus efficace des variations incessantes de la température en dehors des causes régulières et permanentes. Ils brassent sans cesse l'atmosphère, mélangeant l'air de toutes les latitudes comme de toutes les hauteurs, et apportent un témoignage de de la température des régions d'où ils viennent et des modifications qu'ils ont suivies dans leur route.

Toutes ces causes doivent être étudiées dans leur nature, dans leurs rapports, dans leurs effets, dans les lois de leur développement, dans leurs signes précurseurs. Les influences locales donnent aux divers climats leurs caractères distinctifs : il est indispensable d'en apprécier exactement la nature, le rôle et l'importance. Les causes accidentelles donnent aux climats leur mobilité et leur imprévu : il faut en rechercher l'origine et la manière d'agir, et en prévoir les effets.

CHAPITRE IV

LES GRANDS COURANTS DE L'ATMOSPHÈRE.

---

§ Ier. — Causes générales des courants de l'atmosphère.

Les faits journaliers nous ont tous familiarisés avec les mouvements de la chaleur dans les fluides et particulièrement dans les gaz. Des centaines de mètres cubes d'air s'échappent chaque jour par nos cheminées dès qu'un peu de feu les échauffe. Si, dans une pièce close dont rien n'agite l'air nous introduisons un corps chaud, l'air monte tout à l'entour du corps, s'élève jusqu'au plafond, s'y étale en nappes dirigées vers les points opposés à ceux occupés par la source de chaleur, puis redescend vers le sol pour aller ensuite se rallier au courant ascendant qu'il alimente. Si nous entr'ouvrons une porte séparant une chambre chauffée d'une chambre froide, et que nous approchions de l'ouverture une bougie allumée, nous verrons qu'en bas la flamme de la bougie est entraînée vers la pièce chaude et qu'en haut, au contraire, elle est entraînée vers la pièce froide. Une circulation de ce genre se produit partout où existe une masse d'air dont les divers points sont à des tempé-

ratures inégales. L'air chaud tend à monter et à se superposer à l'air froid, tandis que ce dernier prend un mouvement inverse.

On aura sans doute remarqué que pendant l'hiver les rideaux blancs accolés à la surface interne d'une fenêtre tendent à se couvrir de poussière plus abondamment au haut de chaque vitre que dans sa partie inférieure. L'air étant refroidi au contact du verre, tend à descendre, comme l'indiquent les flèches (fig. 25); il en résulte un double courant au travers de l'étoffe. Le courant supérieur allant de l'appartement à la vitre entraîne avec lui des poussières qu'il dépose à la surface du tissu, tandis que le courant inférieur se trouve moins pourvu de ces corps étrangers. D'un autre côté, l'air est d'autant plus froid qu'il a parcouru sur la vitre un plus long espace, et s'il n'est pas naturellement très-près de son point de rosée, il dépose son humidité à l'état d'eau ou de glace en plus grande quantité en bas qu'en haut de chaque carreau : la tendance naturelle de l'eau à descendre par son propre poids est très-loin d'être la seule cause de l'inégalité des dépôts observés.

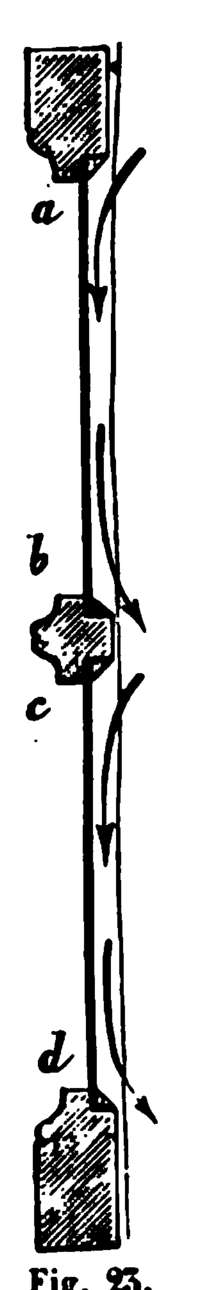


Fig. 25.

Ces mouvements, très-circonscrits dans nos habitations, se produisent dans l'atmosphère sur une très-large échelle. La cause première y reste la même : l'inégalité des températures et les différences de densité qui en résultent dans les diverses parties de l'air. Les plus faibles différences de chaleur suffisent pour imprimer à un gaz des vitesses notables. Qu'un rayon de soleil traverse l'air calme d'un appartement, la poussière s'y agite; et l'ombre projetée par un nuage met en mouvement l'atmosphère. Dans l'examen des vents et de leurs causes, mille complications locales viennent jeter la confusion si l'on s'en tient aux faits limités dont nous avons le spectacle; mais si l'on étend ses regards sur l'ensemble, l'ordre réel apparaît bientôt.

Dans l'exposé qui va suivre, nous écarterons d'abord les causes perturbatrices pour tracer les grandes lignes; ultérieurement nous rétablirons successivement l'action de ces causes diverses en en dégageant les effets.

§ II. — Circulation intertropicale.

Sur tout le pourtour du globe se développe une région où la température est à son maximum. Cette région ne coïncide pas avec l'équateur; l'inégale répartition des terres et des mers entre les deux hémisphères la reporte un peu au Nord et lui fait subir des déviations dont la planche III nous a montré l'importance; de plus, elle se déplace à la surface du globe en suivant le cours des saisons (*voy*. pl. IV et V).

Nous ferons, pour le moment, abstraction des irrégularités qu'elle présente et de ses déplacements. Nous supposerons aussi que la terre soit immobile et qu'il soit midi en tous ses points à la fois.

L'air, fortement échauffé sur la zone équatoriale, s'élève en masse vers les hautes régions de l'atmosphère. Parvenue à une certaine élévation qui nous est inconnue, mais qui dépasse plusieurs kilomètres, la nappe ascendante se partage en deux autres, s'étalant dans la direction des pôles.

Le mouvement ascensionnel ainsi produit donne lieu à un appel d'air des deux côtés de l'équateur thermique; deux autres nappes rasant la surface du sol se dirigent des régions tempérées vers cette ligne. Nous trouvons donc sur tout le pourtour de la terre un double circuit aérien dont la figure 24 nous aidera à comprendre l'étendue.

Envisageons d'abord le circuit nord N. Un courant d'air parti des régions tropicales marche vers l'équateur. Situé dans les

régions inférieures de l'atmosphère et à la surface du globe, ce courant est directement accessible à notre observation ; il constitue les *alizés* de l'hémisphère Nord. Arrivé à une petite distance de l'équateur, variable suivant les saisons, il se redresse vers les hauteurs de l'atmosphère, et lorsqu'il a atteint à un certain niveau, il reprend une direction sensiblement horizon-

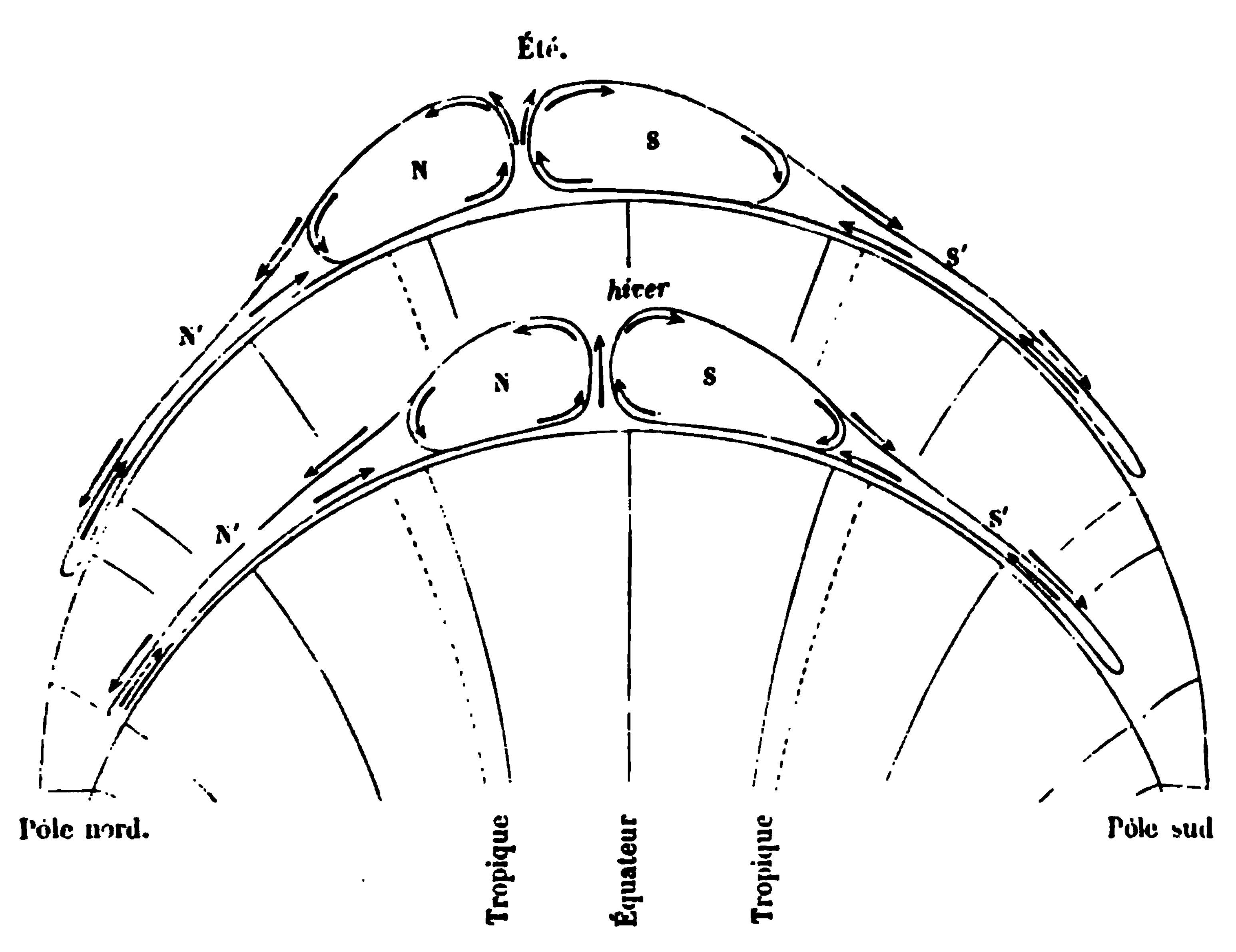


Fig. 24. — Circulation générale de l'atmosphère vue dans un plan vertical passant par les deux pôles.

tale vers le pôle, en se rapprochant toutefois graduellement de la terre à mesure qu'il s'écarte de l'équateur. Maury a donné à cette branche du courant le nom de *contre-alizé* supérieur.

Jusqu'à présent, le circuit n'est pas complet; les alizés et contre-alizés, reliés entre eux par la branche ascendante de la région équatoriale, ne le sont pas encore du côté Nord.

Si la terre était immobile et qu'elle fût éclairée partout à la fois, comme nous l'avons supposé, si, de plus, sa surface était partout homogène, la réunion des deux branches horizontales s'opérerait sans doute vers le Nord comme elle a lieu vers le

Sud, sauf le renversement du sens du mouvement. Le contre-alizé supérieur s'infléchirait vers le sol pour venir se relier à l'alizé, et la circulation de l'atmosphère se trouverait presque exclusivement renfermée entre des latitudes peu élevées. Remarquons toutefois que l'origine première du mouvement se trouvant à l'équateur, ce mouvement y sera régulier comme la cause qui le produit. L'alizé et le contre-alizé participeront eux-mêmes de cette régularité dans le voisinage de la ligne équinoxiale; mais à mesure qu'on s'écartera de cette ligne, l'action motrice agira d'une manière de moins en moins directe. La nappe descendante sera donc plus diffuse, moins bien limitée et moins fixe que la nappe ascendante. Sa position moyenne dépendra de l'activité du *tirage* équatorial et de la hauteur à laquelle atteindra le contre-alizé. Cette hauteur elle-même est liée à la loi de décroissance de la température avec l'altitude; elle peut varier suivant les saisons et n'a probablement pas été la même à tous les âges de la terre.

Le circuit Sud est un peu plus étendu que le circuit Nord; il empiète sur l'hémisphère Austral, même en hiver, à la surface de l'Atlantique, auquel se rapporte notre figure; en été, cet envahissement est encore plus marqué.

Une circulation, quelque régulière qu'on la suppose, ne peut s'établir au sein d'une atmosphère mobile comme la nôtre sans que la partie non directement comprise dans le mouvement n'en subisse le contre-coup. La décroissance de la température s'étend d'ailleurs jusque vers les pôles, et des mouvements atmosphériques en sont la conséquence obligée à ces hautes latitudes. Deux circonstances principales font sortir les courants aériens des limites embrassées par les circuits précédents et donnent naissance aux deux circuits secondaires N′ et S′ : ce sont la rotation de la terre sur son axe et autour du soleil et la distribution des terres et des mers à la surface du globe.

§ III. — **Influence de la rotation de la terre sur elle-même.**

La terre tourne sur elle-même dans le sens de l'Ouest à l'Est. Tous ses points effectuent une révolution complète dans une même période de 24 heures ; mais dans cet intervalle de temps, tous ne parcourent pas des chemins égaux et ne se meuvent pas avec la même vitesse. A l'équateur, la vitesse est d'environ 416 lieues par heure ; elle n'est plus que de 273 lieues sur le 49ᵉ degré de latitude, dans le voisinage de Paris ; elle descend à 238 lieues sur le 55ᵉ degré, près de Newcastle ; au pôle même, elle est nulle.

L'air qui nous semble en repos à Paris se meut donc en réalité de l'Ouest à l'Est avec une vitesse de 273 lieues à l'heure. Imaginons que cet air soit transporté sur le 55ᵉ parallèle sans que rien soit changé dans sa vitesse, il continuera de parcourir 273 lieues par heure ; mais chaque point du parallèle 55ᵉ en parcourt seulement 238 ; l'air gagnera donc sur le sol et dans le sens de l'Est 35 lieues à chaque heure ; et comme le sol nous paraît toujours en repos, nous attribuerons à l'air une vitesse vers l'Est de 35 lieues par heure, ce qui constitue un véritable ouragan. Un effet inverse aurait lieu si une masse d'air en repos relatif sur le 55ᵉ parallèle était subitement transportée sur le 49ᵉ. Cet air nous semblerait courir de l'Est à l'Ouest avec une vitesse de 35 lieues.

En réalité, ces passages de masses d'air d'un parallèle à l'autre se font toujours d'une manière graduelle, et, pendant leur durée, des résistances de diverses natures tendent à égaliser les vitesses. Les différences affaiblies n'en persistent pas moins ; et comme la grandeur des parallèles diminue d'autant plus rapidement que l'on s'approche davantage des pôles, les effets signalés plus haut seront de plus en plus prononcés à mesure

qu'ils se produiront à des latitudes plus élevées. Bien des tempêtes n'ont pas d'autre origine.

Nous pouvons maintenant nous expliquer l'influence de la rotation terrestre sur la direction des alizés.

Considérons d'abord l'alizé du circuit Nord. Nous l'avons fait marcher du Nord au Sud vers l'équateur. Pendant ce mouvement, il passe graduellement sur des parallèles dont les diamètres et par conséquent les vitesses vont en croissant. Si sa vitesse absolue ne change pas, il semblera de plus en plus en retard sur la marche vers l'Est des régions qu'il traverse, et tout en progressant vers le Sud, il semblera se transporter vers l'Ouest : sa route apparente ira du N.E. au S.O., ce qui est en effet à peu près la direction des alizés de l'hémisphère Nord. Pareil résultat sera produit sur l'alizé de l'hémisphère Sud, qui semblera également rétrograder vers l'Ouest; mais, comme cet alizé marche du sud vers le nord en s'approchant de l'équateur, sa direction apparente ira du S.E. vers le N.O., ce qui est aussi la direction générale des alizés de l'hémisphère Sud.

Une particularité se présente ici toutefois. La nappe d'air ascendante qui sépare les deux alizés se déplace un peu suivant les saisons, et pendant notre été elle se trouve reportée de plusieurs degrés au Nord de l'équateur. Dans ce cas, l'alizé du Sud remonte lui-même au Nord de la ligne équinoxiale. Tant qu'il reste au-dessous de cette ligne, l'explication précédente conserve sa valeur; mais dès qu'il a franchi l'équateur, il pénètre sur des parallèles dont la vitesse est au contraire décroissante, et son retard, au lieu d'augmenter, doit faiblir. On voit, en effet, dans ce cas, l'alizé du Sud se redresser vers le Nord et prendre la direction S.S.E., S., et même S.S.O., au lieu de la direction S.E.

Abstraction faite de cette dernière circonstance, les alizés des deux hémisphères soufflent dans des directions symétriquement distribuées des deux côtés de l'équateur. Ils offrent une grande régularité dans leurs allures, particulièrement à la surface des

Océans et loin des terres. La planche IX, chap. VII, donne une idée exacte de l'étendue qu'ils occupent en moyenne sur l'Atlantique à deux époques opposées de l'année, l'hiver et l'été. Ils ne sont ni moins réguliers, ni moins étendus en largeur sur l'océan Pacifique.

Ces deux grands courants viennent se fondre dans la nappe ascendante qui les sépare. Ils y conservent leurs vitesses acquises ; mais ces vitesses primitivement convergentes se redressent vers la verticale sous l'influence de l'action solaire, et leur composante horizontale devient très-faible. Entre les régions alizées on trouve en effet les *calmes équatoriaux*. Ce n'est là toutefois qu'un calme apparent, et cette région des calmes est en même temps la région des *tornados* et des *travados* des Espagnols et des Portugais : c'est la région par excellence des orages.

Lorsque la nappe ascendante, parvenue à une certaine hauteur s'étale en deux nappes horizontales pour former les contre-alizés supérieurs, ceux-ci conservent d'abord leur tendance vers l'Ouest tout en progressant vers le Nord; mais peu à peu ils traversent des parallèles dont la vitesse est graduellement décroissante. Ils prennent bientôt de l'avance vers l'Est sur ces parallèles, et leur direction apparente s'incline vers le N. E. Parvenus à une certaine distance, dans le voisinage des tropiques, ils s'abaissent vers le sol. Là se reproduit le phénomène signalé dans la nappe ascendante; les contre-alizés y pénètrent avec leur vitesse acquise et leur tendance vers l'Est. Les deux nappes descendantes sont donc animées d'un mouvement de translation générale de l'Ouest vers l'Est ; l'inclinaison de leur vitesse dans le sens de la verticale rend cette vitesse moins apparente, et nous retrouvons à ces latitudes deux nouvelles régions dites des *calmes tropicaux*. En marchant de l'équateur vers le pôle Nord, nous rencontrons donc : 1° la région des calmes équatoriaux; 2° les alizés du N.E.; 3° les calmes tropi-

caux ; 4° au delà sont les vents variables d'entre S.O. et N.O. Une série pareille se rencontre dans l'hémisphère Sud.

Dans la fig. 24, nous avons représenté les deux circuits N et S en projection dans un plan vertical ; si nous les figurons en projection sur la surface de la terre, nous obtiendrons deux nouvelles courbes (fig. 25), dans lesquelles *c*, *c* représenteront les alizés inférieurs et *d*, *d* les projections des contre-alizés supérieurs. Nous croyons inutile d'ajouter que nous envisageons le double mouvement des alizés d'une manière générale sans prétendre qu'une même particule d'air tournera indéfiniment dans le même cercle.

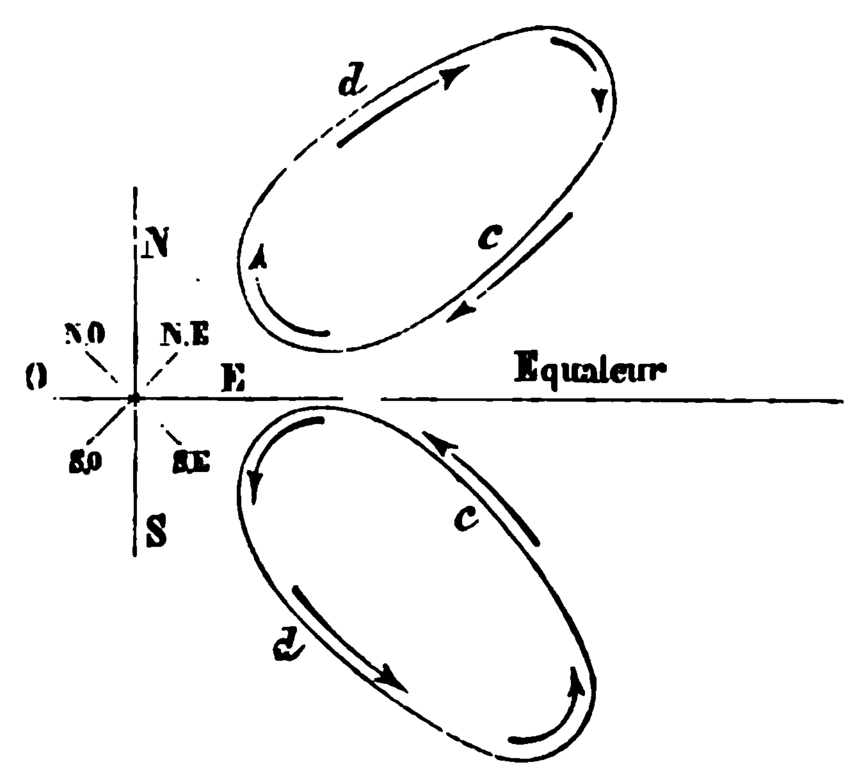


Fig. 25. — Circulation générale de l'atmosphère entre les tropiques, vue en projection à la surface de la terre.

§ IV. — Influence des continents et des mers sur la circulation générale de l'atmosphère.

A la surface des mers, la température varie peu avec les saisons. La zone à température maximum est assez régulière sur le Pacifique et l'Atlantique à une certaine distance des terres ; elle s'y déplace de quantités très-faibles relativement à l'étendue de l'excursion annuelle du soleil. A la surface des continents, au contraire, cette zone est très-accidentée, et de l'hiver à l'été elle peut franchir de larges espaces, ainsi qu'il arrive en particulier dans la mer des Indes. La nappe ascendante suit toutes les inflexions et variations de position de la zone à température maximum. Régulière et presque parallèle à

l'équateur sur les deux Océans, elle se contourne et se fractionne dans le voisinage de l'Amérique et probablement plus encore à la surface de l'Afrique. Le déplacement considérable qu'elle subit annuellement dans la mer des Indes y produit les moussons et donne au régime des vents dans ces parages les caractères tranchés qui les distinguent, et nous ont conduit à en faire l'objet d'un paragraphe spécial.

D'un autre côté, la température décroît moins rapidement avec la distance au pôle sur mer que sur terre; la différence est particulièrement sensible au-dessus des grands courants marins tels que le *Gulf-stream*, rivière du Golfe, dont les eaux chaudes sortant du golfe du Mexique longent les côtes orientales de l'Amérique du Nord, traversent ensuite l'Atlantique de l'Ouest à l'Est et viennent réchauffer les côtes Ouest et Nord de l'Europe (*voy.* chap. v). La chaleur de ces eaux se communique à l'air, qui se charge en outre de vapeur à leur surface. Devenu plus léger, cet air tend à s'élever dans l'atmosphère; il en résulte cette conséquence d'une haute importance pour nos climats : que les contre-alizés supérieurs, soutenus par les courants ascendants à la surface du Gulf-stream, au lieu de rétrograder immédiatement en entier vers les régions équatoriales pour alimenter les alizés, se partagent en deux parts dont l'une continue sa route vers le pôle jusqu'à des latitudes quelquefois très-élevées, tandis que l'autre rétrograde pour former les alizés.

A cette part ainsi dérivée se rattachent les circuits secondaire, désignés par les lettres N′ et S′ dans la figure 24.

L'air ne peut affluer vers les pôles sans que des courants de retour ne ramènent vers l'équateur une masse fluide équivalente à celle qui s'en est écartée; aussi, dans chacun des circuits N′ et S′, avons-nous figuré un double courant, l'un dirigé vers le pôle, l'autre dirigé vers l'équateur. Le premier est chaud et humide, le second sec et froid.

En résumé, nous trouvons dans chaque hémisphère deux circuits ayant pour base commune la nappe équatoriale ascendante. Le premier, que nous appelons *circuit direct*, est généralement limité aux régions intertropicales; le second, que nous appelons *circuit dérivé*, n'est en réalité qu'une anse prolongée du premier et s'étend des tropiques à une distance variable des pôles. Ces deux circuits se distinguent l'un de l'autre par des caractères essentiels tenant à leurs positions diverses dans l'atmosphère.

Le circuit direct se développe en hauteur. Tandis que l'alizé rase le sol, le contre-alizé circule dans des régions très-élevées. La distance qui sépare ces deux courants, jointe à la régularité de leurs allures, les empêche d'empiéter l'un sur l'autre et de s'influencer mutuellement dans leur marche. Il n'en est plus ainsi du circuit dérivé. La branche prolongée du contre-alizé y est devenue superficielle; elle rase la surface du sol; le courant de retour se trouve dans le même cas. L'un et l'autre sont donc au même niveau, simplement juxtaposés et séparés l'un de l'autre par la seule action de la rotation terrestre. Il est des points où ces courants se côtoyent, et leurs qualités diverses donnent lieu à des perturbations atmosphériques nombreuses et quelquefois redoutables. Leurs lits se déplacent à la surface du globe, et la succession de l'un à l'autre dans un même lieu y produit de brusques variations dans l'état du ciel : telle est en particulier l'origine des vicissitudes de nos climats tempérés. Afin d'éviter la confusion, nous conviendrons d'appeler *courant équatorial* la branche du contre-alizé supérieur prolongée dans le circuit dérivé, et *courant polaire* le courant de retour dans le même circuit. Ces deux dénominations sont habituellement usitées par les météorologistes.

Le contre-alizé supérieur de l'hémisphère Boréal est dirigé déjà du Sud-Ouest au Nord-Est. Le courant équatorial qui n'en est qu'un prolongement, conserve d'abord la même direction;

mais à mesure qu'il pénètre à de plus hautes latitudes, les parallèles qu'il traverse décroissent rapidement d'étendue. Le courant prend donc une vitesse relative de plus en plus grande vers l'Est, et sa direction finit par devenir franchement de l'Ouest à l'Est. Ainsi, tandis que dans les régions équatoriales les vents courent de l'Est à l'Ouest, à une certaine latitude Nord ils courent au contraire de l'Ouest à l'Est. Ce dernier effet se produit pareillement dans l'hémisphère Sud.

Dès que le courant équatorial a pris la direction de l'Ouest à l'Est, il cesse de descendre vers le pôle. Par le seul fait de sa vitesse acquise et grâce à la forme arrondie de la terre, il tend alors à se rapprocher de l'équateur. Dans ce mouvement rétrograde, il repasse par des méridiens de plus en plus grands, dont la vitesse est croissante; sa vitesse vers l'Est semble donc faiblir graduellement et se transformer peu à peu en une vitesse relative vers l'Ouest. Le courant polaire, comme l'alizé, souffle finalement du Nord-Est.

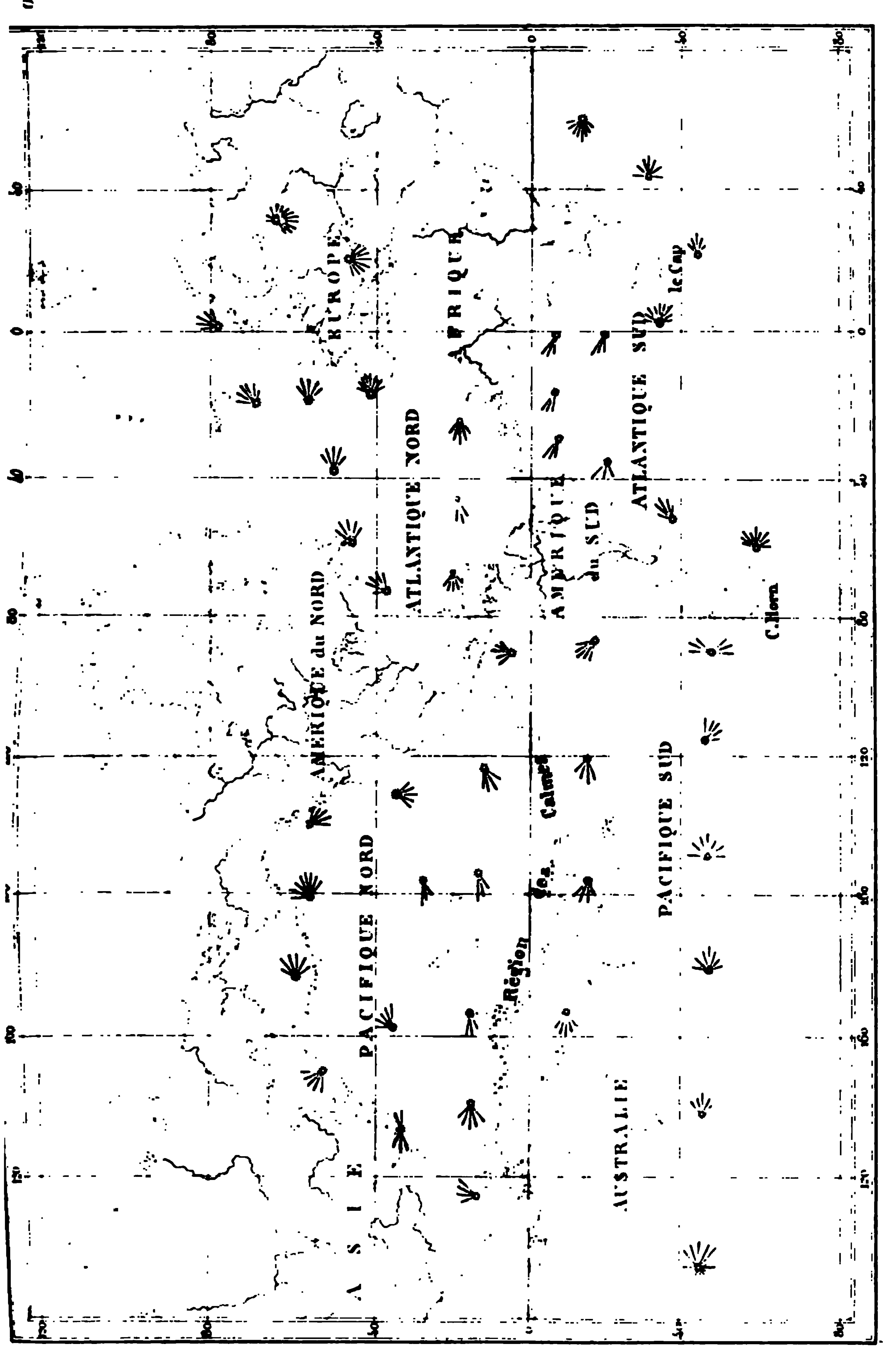
Les courants équatoriaux se développent particulièrement à la surface des Océans, au-dessus des courants marins dirigés de l'équateur vers les pôles; les courants polaires s'etalent à la surface des continents ou sur les parties de l'Océan traversées par des eaux froides. Il existe donc dans notre hémisphère deux courants équatoriaux principaux situés sur les parties occidentales de l'Atlantique et du Pacifique Nords, dans le voisinage des côtes Est de l'Amérique et de l'Asie. Sur ces continents, au contraire, dominent les courants polaires. La proximité de ces courants opposés près des côtes Est des deux continents est la source de la plupart des tempêtes des régions tempérées.

Nous donnons, dans la planche VI, une idée générale de la circulation atmosphérique à la surface du globe : nous n'y avons pas figuré le contre-alizé supérieur qui, à cause de sa situation élevée, n'est accessible à l'observation que dans des circonstances exceptionnelles. Chacune des figures tracées en noir

sur le fond clair de la carte se compose d'un point central autour duquel rayonnent des lignes de longueurs inégales. Ces lignes donnent la direction du vent à la manière des girouettes, la ligne étant tirée *sous le vent:* ainsi ——• indique un vent d'Est, •—— un vent d'Ouest. Leur longueur est proportionnelle à la fréquence du vent correspondant.

Si nous examinons le Pacifique nord, nous voyons que dans le voisinage de l'équateur le vent oscille entre le S. E. et le N. E., parce que les déplacements annuels de la nappe qui sépare les deux alizés nous font passer alternativement dans les alizés du S. E. et dans ceux du N. E. Un peu plus haut, le vent est plus franchement E. ou N. E. Dans la mer de Chine, le vent dominant tourne au S. et au S. O. Plus au nord, dans les mers du Japon, le vent est plus variable, et ses diagrammes conservent les traces de l'influence des vents dominants en Asie et des perturbations résultant du voisinage de ces vents dans le courant équatorial du Pacifique Ouest. A la hauteur des îles Aléoutiennes, le vent tourne à l'O. et oscille entre le N. O. et le S. O. Vers la côte Ouest de l'Amérique, à la hauteur de l'île Vancouvert, le vent incline vers le N. O., il oscille entre l'O. et le N.; il devient Nord à la hauteur de la Californie, puis il rallie peu à peu le N. E., puis l'E., à mesure qu'on se rapproche de l'équateur. Le circuit dérivé apparaît donc à la surface du Pacifique avec autant de netteté que les perturbations atmosphériques puissent le permettre: nous verrons même que la marche de ces perturbations peut servir à éclairer les points que l'usage exclusif des moyennes rend obscurs.

L'Atlantique est beaucoup moins développé en largeur que l'Océan Pacifique, et au lieu d'être fermé au nord comme ce dernier, il est assez largement ouvert dans la direction du Nord-Est. Le *Gulf-stream* se fraye un passage vers le Nord par cette ouverture; ce courant marin est d'ailleurs d'une puissance exceptionnelle. Le courant équatorial de l'Atlantique est donc lui-



EUROPE
AFRIQUE
ATLANTIQUE NORD
ATLANTIQUE SUD
le Cap
AMERIQUE du SUD
AMERIQUE du NORD
C. Horn
PACIFIQUE NORD
PACIFIQUE SUD
Région des Calmes
AUSTRALIE
ASIE

même très-abondant ; fréquemment il atteint à de très-hautes latitudes, et comme l'ancien continent est très-étendu en largeur, le courant polaire de retour oscille à sa surface entre de larges limites, ce qui, dans les moyennes, pourra masquer son existence, surtout à cause des perturbations qui s'y propagent.

Un peu au Nord de l'équateur, le vent souffle régulièrement d'entre E. et N. E.; au delà du 40e parallèle, entre l'Amérique et l'Europe, il souffle d'entre S. O. et N. O.; on le voit déjà tendre un peu plus vers le N., à la hauteur des côtes de France, des côtes d'Espagne et des côtes de Maroc, tandis que, dans les parages de la Norwége, il revient vers le S. O.; il incline de nouveau vers le N. sur la Russie; mais c'est dans l'intérieur de l'Asie que le courant polaire est le plus habituellement établi.

Le courant équatorial de l'Atlantique s'étend à certaines périodes de l'année jusque dans les mers polaires ; mais, dans ce long parcours, il abandonne sur sa route des courants partiels dont l'excursion est d'autant plus limitée vers l'Est qu'ils émergent du courant principal à une latitude moins élevée.

C'est à l'un de ces courants partiels qu'il faut attribuer la tendance marquée des vents à rallier le Nord dans les parages de l'Espagne et du Portugal ; à une autre branche est due l'orientation générale des vents entre le N. O. et le N. E., sur la Russie et la Hongrie; d'autres encore passant au-dessus du cap Nord vont se développer sur l'Asie et rejoindre les alizés sur la zone de déserts de l'Asie méridionale. Chacun de ces courants transporte avec lui des bourrasques dont le caractère est d'imprimer à l'air un mouvement particulier de tourbillonnement sur lui-même, qui dans les moyennes vient masquer le sens général de progression de l'atmosphère.

Imaginons que sur le cours d'un fleuve des tourbillons s'établissent dans la masse liquide, ainsi qu'on en voit quelques

exemples sur la Seine au-dessous des ponts. Un observateur qui noterait à chaque heure du jour la direction de l'eau en un point précis de la rivière et qui classerait ses observations suivant les huit directions principales du vent, obtiendrait une figure analogue à celles que nous avons tracées sur le Nord de l'Atlantique; il accuserait le courant d'inconstance et aurait peine à reconnaître dans les résultats obtenus par lui la marche régulière du fleuve. Le même observateur, se plaçant, au contraire, sur l'un des ponts en son milieu, peut alors embrasser l'ensemble du mouvement, et, au lieu de se perdre dans la variété des détails, faire servir ces détails eux-mêmes à préciser les allures du courant.

Les observations employées à la construction des roses de vent dessinées sur la planche VI renferment, confondus dans les moyennes, et le mouvement général de l'atmosphère et les perturbations qu'y produisent les tourbillons. Lorsque nous aurons étudié ces derniers, nous pourrons faire la part de leur influence et les employer comme des corps flottants à la détermination des courants généraux qu'il nous importe de bien connaître, puisqu'ils règlent le parcours des tourmentes et des orages.

§ V. — Influence des saisons sur la circulation générale de l'atmosphère.

Les considérations exposées dans le paragraphe précédent donnent un rôle important aux courants marins et particulièrement au Gulf-stream dans la production des mouvements de l'air dans nos régions tempérées. Cette importance, le Gulfs-tream la doit à sa température élevée relativement à la température des eaux voisines. Or, cet excès de chaleur est surtout prononcé pendant l'hiver, parce que le Gulf-stream s'alimente dans les eaux

du golfe du Mexique et que ces eaux échauffées elles-mêmes sous la zone torride avant d'être poussées dans le golfe par les vents, conservent toute l'année une température élevée. Dans leur long parcours avant d'atteindre nos latitudes elles perdent bien une partie de leur chaleur et elles nous arrivent moins chaudes en hiver qu'en été; mais tout le reste de notre hémisphère s'est refroidi dans une proportion beaucoup plus considérable, non-seulement à la surface des continents, mais encore à la surface des mers où n'arrivent pas les eaux du golfe. Au contraire, pendant l'été, le Gulf-stream a peu changé, tandis qu'autour de lui tout s'est échauffé plus ou moins.

D'un autre côté, sur la fin de notre été, les régions environnant le pôle nord ont eu pendant plusieurs mois des jours sans nuits; la température s'y est notablement adoucie et l'air s'y est raréfié. Aux jours sans nuits succèdent bientôt des nuits sans jours, accompagnés de froids d'une extrême rigueur; l'air se contracte et appelle de l'air pour combler le vide formé par le froid. A chacun de ces changements dans notre hémisphère correspond un changement inverse dans l'hémisphère opposé. Un transport général de l'atmosphère a donc lieu chaque année alternativement de l'hémisphère Sud à l'hémisphère Nord, et réciproquement.

L'afflux de l'air vers le pôle Nord pendant l'hiver s'effectue par l'intermédiaire des courants équatoriaux, qui acquièrent alors une très-grande ampleur; les perturbations s'y accroissent dans le même rapport : c'est la saison des tempêtes. A mesure que le soleil revient vers nous, que notre atmosphère s'échauffe et se dilate, le courant équatorial se ralentit; il atteint à des latitudes moins élevées. Au contraire, les courants polaires prennent plus d'activité; mais comme ils sont diffusés à la surface de l'Asie, et même de l'Europe, leur vitesse est rarement très-grande : l'été est la saison des calmes pour notre hémisphère. Les troubles atmosphériques de cette saison sont limités

à de faibles étendues, et leur gravité toute locale est empruntée à des phénomènes électriques d'une nature toute spéciale : c'est la saison des orages.

Nous terminerons ce chapitre par une dernière observation. Les courants équatoriaux ont à leurs extrémités polaires des directions parallèles à l'équateur et marchent de l'Ouest à l'Est. Malgré leurs variations d'amplitude et d'intensité, on comprend qu'ils aient fini par imprimer à l'atmosphère des pôles un mouvement de rotation continu dans le sens de la rotation terrestre. Ce mouvement est surtout prononcé dans l'hémisphère Sud, où les continents ont une étendue relativement très-faible et qui, au delà d'une certaine latitude, se trouve entièrement recouvert par les eaux. On comprendra dès lors combien il devait être avantageux de revenir d'Australie par le cap Horn en suivant le sens du vent, et combien, d'une manière générale, la connaissance des lois de la circulation atmosphérique permet d'abréger certaines traversées. Nous pouvons revenir utilement en quelques mots sur la planche I, page 47, où sont figurées les principales routes maritimes. San-Francisco et Shanghaï sont situés à peu de distance au nord de la ligne de séparation des alizés du N.E. et des vents d'entre S.O. et N.O. de l'océan Pacifique. En partant de San-Francisco pour aller à Shanghaï, les navires se dirigent donc d'abord vers le Sud pour chercher les vents du N.E. favorables à leur traversée; en quittant au contraire Shanghaï pour San-Francisco, ils vont chercher au Nord des vents qui les poussent vers leur destination. Des changements de route analogues se présentent sur l'Atlantique, entre les ports de l'Europe et de l'Amérique, et particulièrement du golfe du Mexique; la cause en est la même. On remarquera pareillement que les routes des ports d'Europe ou des États-Unis à l'équateur inclinent vers l'Est, tandis qu'au retour elles inclinent vers l'Ouest. Le but proposé reste encore de parcourir chaque région des mers dans la direction où on

puisse tirer le meilleur parti possible des vents dominants dans ces régions ; et, quand ces vents sont peu favorables, de traverser, dans le sens de leur plus faible largeur, les mers où ils soufflent, même en allongeant la route à faire dans les mers où les vents ont des directions plus convenables.

Nous venons d'esquisser les grandes lignes de la circulation atmosphérique ; nous reviendrons avec plus de détails sur chacune de ses parties lorsque nous aurons complété notre examen des causes dont elles dépendent.

CHAPITRE V

LA MER ET LES COURANTS MARINS

§ 1er. — Composition des mers.

La superficie de la terre ferme est à celle des eaux dans le rapport de 10 à 27 environ. Les mers sont réparties d'une manière fort inégale à la surface du globe. L'hémisphère Austral en est plus abondamment pourvu que l'hémisphère Boréal ; et on peut imaginer à la surface de la terre un grand cercle partageant le globe en deux parties égales, dont l'une contiendrait la presque totalité des terres avec une grande partie de l'Atlantique et de l'Océan Indien, tandis que l'autre serait à peu près exclusivement occupée par la mer, à l'exception de l'Australie et des terres inconnues du pôle Sud.

Pendant longtemps on n'eut que des idées erronées sur les profondeurs des Océans. Des procédés de sondage insuffisants et l'entraînement des lignes de sonde par les courants sous-marins avaient conduit à des estimations exagérées. Les plus grandes profondeurs ne paraissent pas dépasser 9 à 10,000 mètres et l'incertitude des sondes à de telles distances doit les

faire considérer plutôt comme un maximum que comme une évaluation bien exacte. La profondeur moyenne de l'Atlantique est de 4 à 5,000 mètres environ.

Une incessante évaporation transporte l'eau des mers à la surface des continents. Sorties pures de l'Océan, les eaux pluviales y retournent chargées de matières salines qu'elles ont enlevées au sol. Une partie de ces matières simplement suspendues dans la masse liquide se déposent dans les estuaires des fleuves dont elles exhaussent le fond; les parties dissoutes vont accroître la richesse minérale des eaux salées.

Cet apport continu de matières nouvelles aurait depuis longtemps amené la saturation des mers si d'autres causes également continues n'agissaient dans un sens inverse.

L'Océan est peuplé d'animaux aujourd'hui microscopiques, mais atteignant aux premiers âges de la vie du globe des dimensions considérables, ce sont les *Rhizopodes* ou *Foraminifères*. Ces animaux extraient de la mer les sels calcaires dont ils constituent leurs coquilles, et les débris de ces enveloppes protectrices vont s'accumuler lentement au fond des mers. La charpente des plus hautes montagnes, comme les Pyrénées et les Alpes, s'est ainsi formée horizontalement au fond des Océans, jusqu'à ce qu'un plissement de la croûte solide les ait fait surgir en nouveaux continents. Les Madrépores de leur côté exécutent un travail d'élimination semblable et viennent semer certaines mers d'écueils sans cesse grandissants.

Les substances calcaires les plus abondamment fournies par les eaux continentales se trouvant ainsi séparées des eaux par les êtres vivants, se rencontrent dans la mer en quantités restreintes; d'autres y sont plus abondantes bien que plus limitées dans leur production, parce que leur consommation est moins active : tel est en particulier le sel marin. Dans l'état actuel, l'eau de mer contient en moyenne :

962,0	parties	d'eau douce.
27,1	—	de sel marin ou chlorure de sodium.
5,4	—	de chlorure de magnésium.
0,4	—	de chlorure de potassium.
0,1	—	de bromure de magnésium.
1,2	—	de sulfate de magnésie.
0,8	—	de sulfate de chaux.
0,1	—	de carbonate de chaux.
2,9	—	de résidu non déterminé.
Total. 1000,0		

Son poids moyen à 20 degrés est de 1027 kilog. par mètre cube, au lieu de 998 kilog., poids du mètre cube d'eau pure à la même température. Cette composition varie suivant les lieux par l'addition des eaux pluviales ou la fonte des glaces d'une part, et de l'autre, par l'évaporation et le travail des êtres vivants. Les courants marins mêlant les eaux dans tous les sens, tendent à rétablir, dans leur composition, l'uniformité sans cesse troublée.

§ II. — Causes générales de la circulation océanique.

Les eaux de la mer ne sont pas plus en repos que l'air atmosphérique. Les mêmes causes y produisent des effets de même nature, et, de plus, si la mer exerce une influence incontestable sur la circulation aérienne, les vents à leur tour sont une des causes déterminantes de la production des courants marins.

La moindre brise suffit à rider la surface des eaux tranquilles et à lui imprimer un mouvement de translation dans le sens du vent. Quand la brise fraîchit[1], la surface de l'eau s'agite en proportion; et l'on sait à quelle hauteur peuvent atteindre

[1] Dans le langage ordinaire, le mot *brise* réveille l'idée d'un vent très-faible; les marins lui donnent une acception plus large et l'emploient à la désignation d'un vent quelconque. Le mot *fraîchir* signifie pour eux que le vent prend de la force.

vagues de l'Océan pendant les tempêtes. Ce n'est pas là un
ıple mouvement d'oscillation verticale se propageant à la
nière des ondes circulaires que le choc d'un corps produit
l'eau. Tout ébranlement superficiel engendre une ondula-
ı de cette nature; mais ici les montagnes d'eau soulevées
ent une prise considérable au vent, et lorsque, par l'effet du
uvement ondulatoire, la masse retombe pour se relever bien-
, elle conserve la vitesse horizontale que la brise lui avait
primée. La pression de l'air en mouvement est même assez
ısidérable pour déplacer l'Océan d'une manière sensible. Les
ındes marées sont exagérées ou réduites suivant que le vent
ısse à la côte ou qu'il en éloigne le flot; et sur la Méditerra-
: où les marées lunaires sont insensibles, des espèces de ma-
s accidentelles naissent de l'entraînement de la mer par l'air.
xemple le plus remarquable de l'influence des vents sur le ni-
ıu des mers est le suivant, que nous empruntons à la *Météoro-
ie nautique* de Maury. Dans une tempête, les eaux montèrent
ıs le golfe du Mexique à plus de 9 mètres au-dessus de leur
eau habituel. Le navire *Ledbury Snow*, qui avait cru trou-
plus de sûreté en mouillant, reconnut, lorsque la brise
ıt à mollir, qu'il avait pénétré dans l'intérieur des terres et
'il avait laissé tomber son ancre sur le sommet des arbres
lliott's Key. Les Florida Keys furent aussi couvertes à une
ıteur de plusieurs pieds; et lorsque cette masse d'eau reprit
ı cours en se précipitant avec une effrayante rapidité dans
direction d'où soufflait précédemment l'ouragan, elle pré-
ıtait un spectacle dont l'horreur a rarement été égalée. Des
énomènes de ce genre ont quelquefois été observés dans la
r des Indes, sur le passage des cyclones.

Là où les vents sont inconstants et varient dans leur direc-
n comme dans leur force, les mouvements qu'ils produi-
ıt n'ont pas le temps de se régulariser; mais si nous nous
ortons à l'ensemble de la circulation aérienne, nous com-

prendrons aisément qu'une circulation parallèle doit s'établir à la surface des mers, autant du moins que le permettront la conformation des rives de l'Océan, la rotation terrestre, etc.

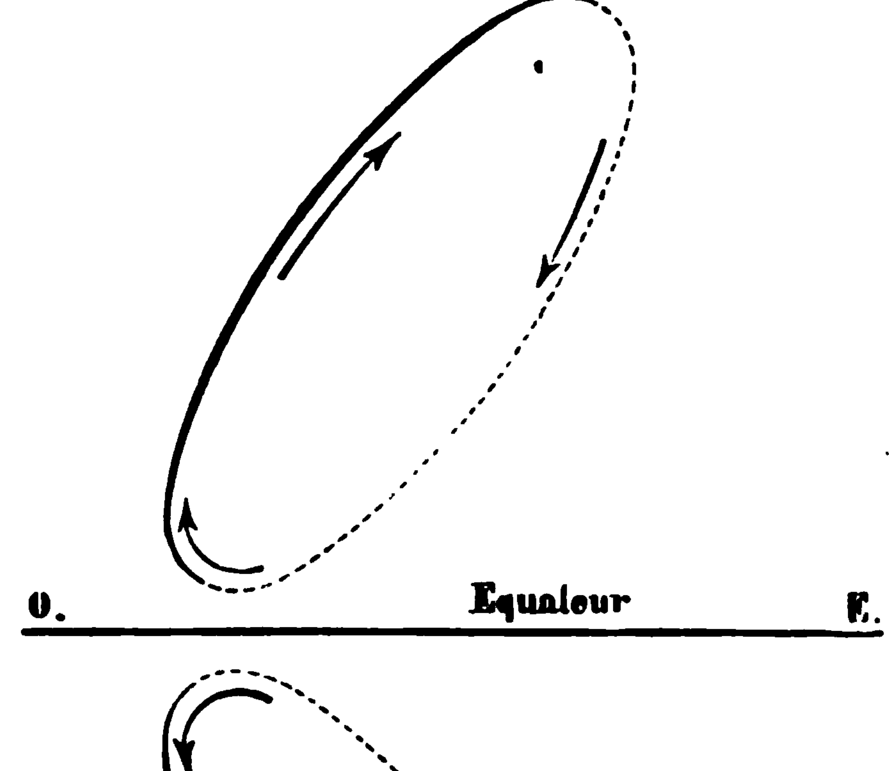
La force motrice de l'atmosphère, la chaleur solaire dont nous avons placé le principal centre d'action dans la zone équatoriale, est aussi une cause du mouvement des eaux ; et il en est de même des inégalités de salure dues à l'évaporation, aux pluies, à l'apport des fleuves, à la fonte des glaces polaires...

Nous examinerons séparément ces diverses causes, pour faire plus aisément la part de chacune d'elles.

§ III. — Influence de la chaleur et du degré de salure des eaux.

L'eau se dilate beaucoup moins que l'air sous l'influence de la chaleur ; ses variations de volume avec la température sont cependant encore assez marquées. Un mètre cube d'eau pure à 4° pèse 1,000 kil. — A 28°, température qu'atteint la surface des mers dans le voisinage de l'équateur, un mètre cube d'eau pure ne pèse plus que 996 kilog. — 4 kil. ont passé hors du mètre cube par l'effet de la dilatation. L'eau de mer se dilate par la chaleur à peu près comme l'eau pure, et si sa composition restait constante, non dans l'ensemble, ce qui a lieu, mais dans les détails, il serait facile d'analyser les effets produits. L'eau plus chaude, plus dilatée et plus légère à l'équateur, tendrait à s'étaler en une double nappe superficielle dans la direction des pôles ; les eaux polaires, au contraire, plongeraient au-dessous de ces nappes pour se rendre à l'équateur et y prendre la place des eaux chaudes transportées vers les pôles. La rotation terrestre intervenant, le courant équatorial superficiel inclinerait graduellement vers l'Est et marcherait du S. O. dans notre hémisphère et du N. O. dans l'hémisphère austral. Les cou-

rants polaires sous-jacents prendraient des directions inverses. La figure 26 donnera une idée de la circulation qui se produirait alors. Les lignes pleines figurent les courants superficiels, les lignes ponctuées les courants profonds de retour : c'est comme on voit l'analogue de la circulation aérienne. La différence de densité étant toutefois peu considérable, les mouvements produits seraient eux-mêmes très-lents. Or des inégalités prononcées dans le degré de salure des mers viennent encore agir à l'encontre des effets de la température et restreindre ou même renverser ces effets.



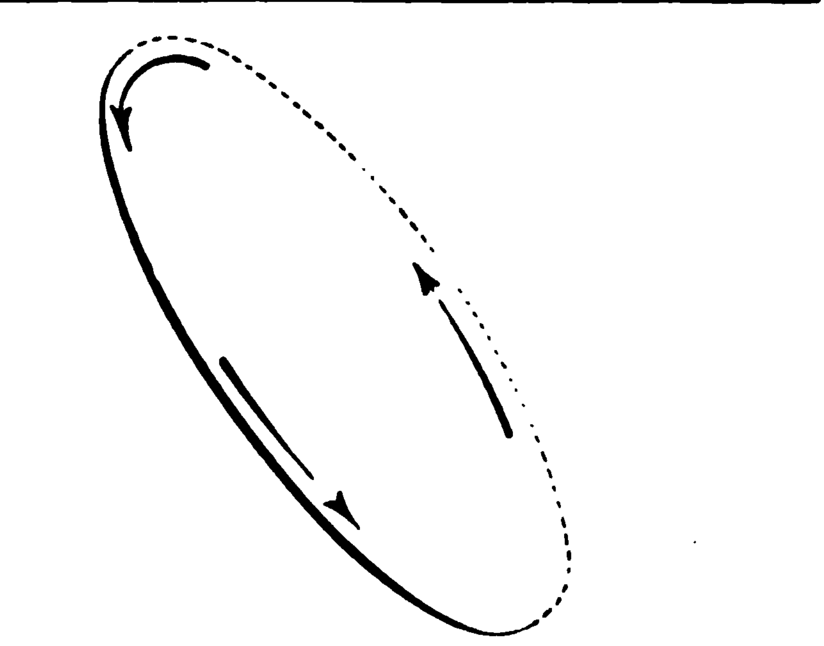


Fig. 26. — Courants théoriques produits dans la mer par l'action de la chaleur.

Dans les régions équatoriales où la température est la plus élevée, l'évaporation est aussi la plus active, et, comme cette évaporation n'enlève à la mer que de l'eau pure, elle a pour effet d'augmenter la salure des eaux superficielles et par conséquent leur densité, que la chaleur tend au contraire à diminuer. Un phénomène inverse a lieu aux latitudes élevées où l'évaporation est beaucoup moins active et où vient au contraire se condenser une partie de la vapeur fournie par les régions équatoriales. Dans les lieux où l'eau des pluies surpasse l'évaporation, la salure à la surface de la mer se trouve amoindrie. Enfin la glace formée dans les mers polaires contient presque exclusivement de l'eau

pure; elle a pour effet d'augmenter la salure des couches sous-jacentes, tandis que par sa fusion elle diminue la salure des couches superficielles : les fleuves produisent également ce dernier résultat. Nous nous trouvons donc en présence de deux influences contraires; leur conséquence est que la densité des couches superficielles de la mer est beaucoup moins variable de l'équateur aux pôles que la distribution des températures ne le ferait supposer, et qu'à une certaine distance de l'équateur, la densité diminue même au lieu de s'accroître, bien que le degré thermométrique continue de s'abaisser.

En réalité, la densité de l'eau prise à la surface de l'Atlantique augmente lentement depuis l'équateur jusqu'au 30e ou 35e degré de latitude, mais en subissant, aux différents degrés de longitude, des oscillations dont l'amplitude est de plus en plus marquée à mesure que l'on se rapproche davantage des pôles. Le plus grand maximum de densité pour l'Atlantique se trouve à 66 degrés Nord et entre les 50 et 55es degrés Sud. Au delà, la densité diminue.

De l'équateur aux latitudes moyennes, le poids d'un mètre cube d'eau de mer augmente de 5 kilog. environ; mais, de l'eau de mer à l'eau pure, la diminution de poids surpasse 25 kilog. par mètre cube. Aussi voit-on les fleuves à leur embouchure couler non sur leur propre lit, mais sur un lit artificiel formé par l'eau salée. On peut même distinguer très-loin au large les eaux douces aux tons verdâtres qu'elles communiquent à la mer : le mélange des deux eaux est longtemps retardé par la grande différence de leurs densités. Les glaces en fondant forment de même à la surface de la mer une nappe d'une densité relativement faible malgré sa température peu élevée : cette nappe se dirige des pôles vers les latitudes moyennes à l'encontre des eaux équatoriales.

En négligeant l'influence des vents dont nous nous occupons d'une manière spéciale dans le paragraphe suivant, au lieu

d'une circulation, nous en trouverions donc deux dans chaque hémisphère. La nappe superficielle dirigée de l'équateur vers les pôles s'arrêterait à une certaine distance comprise entre les 50° et 60° degrés de latitude. Là elle plongerait, soit pour former les courants sous-marins dirigés vers l'équateur et destinés à alimenter le courant superficiel, soit pour continuer sa route vers les pôles en passant au-dessous d'autres eaux venues des pôles vers ces régions moyennes. Cette double circulation océanique semblerait avoir servi de base à la circulation atmosphérique développée par Maury dans ses ouvrages.

Mais tous ces mouvements de dérive des eaux ne peuvent avoir que des vitesses très-faibles. Alors même que le poids du mètre cube d'eau varierait d'une extrémité à l'autre du circuit, de 25 à 30 kilogr., cette force de poussée devant se répartir sur une longueur de plusieurs milliers de kilomètres rentre dans les infiniment petits. Les différences de densité n'existent d'ailleurs que sur une très-petite profondeur au-dessous de la surface, soit parce que l'eau est très-mauvais conducteur de la chaleur, soit parce que les eaux provenant de la fonte des glaces ne forment qu'une imperceptible fraction de la masse totale. Enfin, la force de poussée agit sur des masses liquides sans cesse renouvelées et son action ne peut s'y ajouter à elle-même, de manière à suppléer par la répétition des mêmes effets à leur insuffisance.

Les courants de dérive produits par le seul jeu des densités de l'eau, qu'ils viennent de l'équateur ou des pôles, seront facilement dominés par l'action des vents réguliers. Ils disparaissent presque entièrement dans l'Atlantique Nord et sont peu marqués dans l'océan Pacifique Nord. Nous ne les trouvons bien généralisés que dans l'hémisphère Sud où le peu de développement des continents est favorable à leur établissement, et où cependant leur direction normale est changée par l'action des vents.

§ IV. — Influence des vents.

Nous supposerons, comme pour la chaleur, que le vent soit la seule force motrice agissante, afin de mieux dégager ultérieurement sa part d'action dans l'ensemble des faits.

La puissance du vent sur les eaux résulte d'un effet d'entraînement par frottement. L'impulsion est donc toute superficielle, mais elle peut s'exercer simultanément sur d'immenses surfaces ; elle sera d'ailleurs proportionnelle à la vitesse du vent qui est en moyenne de 5 à 6 lieues à l'heure dans certaines régions du globe. L'eau est très-mobile, mais sa masse est grande; sa vitesse acquise croîtra en raison directe de la persistance en grandeur et en direction, de l'action du vent sur la même masse liquide, et en raison inverse des obstacles au mouvement de cette masse. Ces derniers seront d'autant plus faibles que le mouvement aura pu se propager librement à de plus grandes profondeurs par l'effet de l'entraînement de l'eau glissant sur l'eau.

Les alizés présentent un caractère de régularité très-remarquable; ils couvrent une vaste étendue des mers; leurs directions convergentes tendent à favoriser leurs effets en concentrant vers les régions équatoriales les masses d'eau qu'ils entraînent, au lieu de les éparpiller sur le globe; les mers où ils soufflent sont larges et profondes et une même masse d'eau peut être longtemps soumise à leur action régulière. Tout favorise donc leurs effets. Ces effets toutefois différeront beaucoup suivant que la configuration des mers ramènera sous leur influence des eaux conservant encore une partie de la vitesse antérieurement acquise, ou que ces eaux iront se disséminer et se perdre dans des Océans ouverts de toutes parts.

Imaginons d'abord un Océan sans limites.

D'une manière générale, et en négligeant pour un moment l'obliquité des alizés vers le Nord ou vers le Sud, ces vents courent de l'Est à l'Ouest entre les tropiques. Dans une mer indéfinie, nous aurions donc entre les tropiques un grand courant marin marchant de l'Est à l'Ouest et entraînant même avec lui la région des calmes. Au delà des tropiques, dans les deux hémisphères nous trouvons deux autres zones où soufflent avec une régularité moindre des vents généralement forts dont la direction oscille entre le S. O. et le N.-O. Dans ces régions la mer sera entraînée dans la direction de l'O. à l'E., mais d'une manière moins régulière et moins continue, et par conséquent dans des conditions moins efficaces. L'effet obtenu serait donc conforme à la figure 27, dans laquelle nous avons tenu compte de l'obliquité des vents.

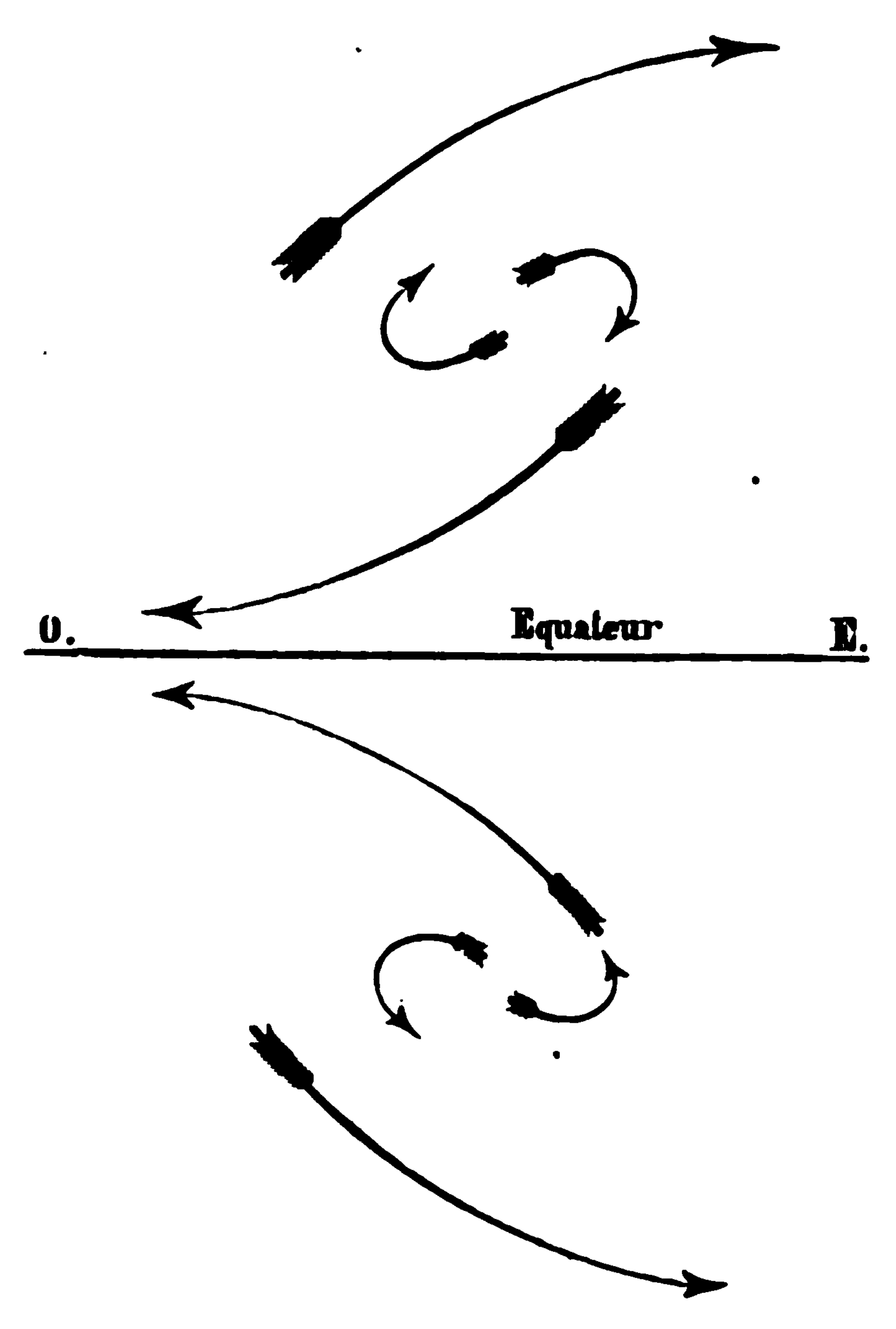
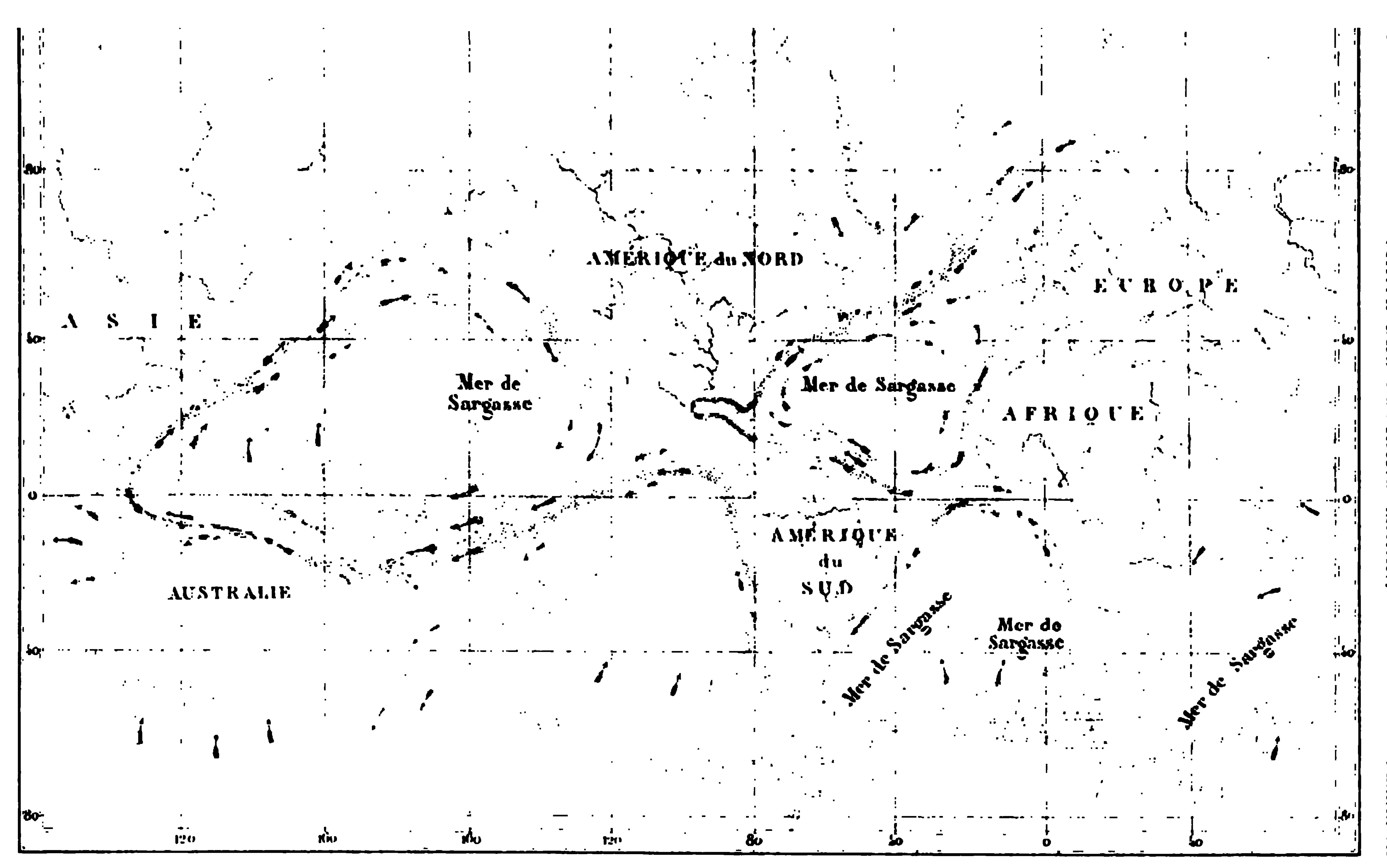


Fig. 27. — Circulation théorique des mers sous la seule action des vents dans un Océan indéfini.

Dans les zones tropicales d'où partent les flèches, parce que là se trouvent les lignes de partage des deux courants aériens de surface, les alizés et les contre-alizés supérieurs, il se ferait un appel d'eau des couches profondes. Ces régions, origines du double mouvement marin ou séparant deux courants de directions opposées formeraient une région des calmes relativement aux phénomènes de transport des eaux.

Dans la zone équatoriale, au contraire, les flèches convergent vers la ligne moyenne ; le courant acquerrait sur cette ligne une plus grande profondeur et en même temps une vitesse maximum. Dans les zones extra-tropicales, la variabilité, du vent et la diffusion du courant vers les pôles donneraient à ce courant une vitesse et une direction moins nettement accusées. On remarquera toutefois que le double courant intertropical produit par l'action du vent est opposé à celui qui naîtrait de l'action des températures. Cette opposition serait une condition défavorable à l'un et à l'autre : elle ne se retrouve plus dans les zones tropicales.

Considérons maintenant un bassin borné dans tous les sens par des terres, mais s'étendant au Nord depuis l'équateur jusqu'aux limites extrêmes des vents d'Ouest. Le courant équatorial marchant de l'Est à l'Ouest viendra se heurter contre le bord occidental du bassin ; mais sa vitesse acquise tendra à lui ouvrir une voie latérale. Or la vitesse opposée du courant situé plus au Nord, quelque faible qu'on la suppose, tend à faire un vide sur ce même bord occidental du bassin. Le courant équatorial s'y relèvera donc vers le Nord pour se relier au courant d'Ouest. Par une semblable cause, le courant d'Ouest se reliera à son tour au courant équatorial en s'inclinant vers le Sud sur le bord oriental du bassin. Nous aurons ainsi une rotation continue et complète à la surface de la mer et les mêmes eaux recevant successivement l'impulsion des mêmes vents, les effets s'ajouteront, la vitesse totale croîtra dans une large proportion : les régions où l'impulsion est faible, nulle ou contraire, bénéficieront des effets obtenus sur les autres. Cette fois, l'opposition signalée plus haut n'existe plus ; les eaux, refoulées par les vents vers l'équateur, n'ont plus besoin de plonger, contrairement à la tendance que leur donne leur température élevée, pour restituer aux latitudes moyennes la masse d'eau qui en est entraînée par le vent ; une simple déviation s'opère dans le plan de leur


ASIE
AMÉRIQUE du NORD
EUROPE
Mer de Sargasse
Mer de Sargasse
AFRIQUE
AUSTRALIE
AMÉRIQUE du SUD
Mer de Sargasse
Mer de Sargasse
Mer de Sargasse

circuit. Ce dernier, au lieu d'être presque vertical, s'incline parallèlement à la surface de la mer. En jetant les yeux sur la carte des courants marins de l'océan Atlantique Nord, planche VII, on sera frappé sans doute par la conformité de ces courants avec les conclusions précédentes.

§ V. — Détermination des courants.

On ne connaît que d'une manière très-incomplète la circulation des mers dans leurs divers bassins; les courants sous-marins surtout sont presque entièrement ignorés. Les courants de surface qui intéressent, il est vrai, plus directement le navigateur ont seuls été, depuis quelques années, soumis à des études suivies dont les résultats montrent, par leur importance, tout le parti que l'on peut tirer de ce genre de recherches.

La carte des courants marins dressée par Maury pour l'Atlantique Nord est fondée sur des observations nombreuses et assez précises pour qu'on puisse la regarder comme représentant d'une manière exacte les principaux caractères de ces courants. La carte de l'Atlantique Sud, celle de la mer des Indes et surtout celles du Grand Océan sont moins avancées, parce que les traversées moins fréquentes n'y ont fourni que des observations météorologiques peu nombreuses. Plusieurs de leurs parties cependant ont donné lieu à des monographies d'un grand intérêt. En l'absence d'observations directes sur les courants, on peut s'aider dans leur étude par l'examen des divers effets qui les accompagnent.

Le long des côtes on détermine les courants par la dérive des objets qu'on peut laisser flotter à la surface de l'eau. Les points de repère manquant en pleine mer, on évalue la vitesse et la direction de ces courants par les différences que l'on constate entre

la position occupée réellement chaque jour par le navire et déterminée astronomiquement, et celle qu'il devrait occuper d'après la route suivie et le chemin parcouru depuis la veille.

La détermination du *point* que l'on occupe en mer, par les procédés astronomiques à l'usage des marins, n'est pas toujours d'une rigueur extrême; elle est cependant en général suffisamment approchée.

L'évaluation de la vitesse d'un bâtiment s'effectue au moyen du *loch :* on lance à l'eau une planchette triangulaire lestée de manière à ce qu'elle s'y tienne verticalement, la pointe en haut. A cette planchette est attachée une longue corde mince appelée *ligne*, au moyen de trois brins fixés aux trois angles de la planchette de manière que celle-ci se tienne dans l'eau perpendiculairement à la ligne et éprouve ainsi la plus grande résistance possible au déplacement. La ligne porte sur sa longueur des nœuds équidistants dont le passsage dans la main de l'officier qui la tient puisse être perçu par lui. La planchette étant lancée à la mer, on laisse *filer la ligne*, puis au passage d'un premier nœud on prévient un aide qui tourne aussitôt un sablier, et on compte le nombre de *nœuds filés* pendant le temps fixe que dure l'écoulement du sable. Ce nombre donne la vitesse du navire. C'est là un résultat approximatif, mais suffisant encore quand il est obtenu par un officier habitué à sa ligne, ainsi qu'il arrive d'ordinaire.

La direction du navire est beaucoup plus difficile à évaluer exactement. Jamais, en effet, un bâtiment ne suit une direction bien constante; chaque lame et chaque bouffée de vent le font dévier de la route qu'on lui assigne et il faut l'intervention constante du gouvernail pour l'y maintenir. Il ne marche jamais non plus dans la direction où il est poussé par le vent. Cette direction étant constamment oblique à l'axe du bâtiment, celui-ci tend à marcher transversalement en même temps que de l'avant. La marche transversale, appelée *dérive*, est considérable-

ment ralentie par l'action de la *quille*, longue traverse faisant saillie au-dessous du navire dans le sens de son axe; mais elle n'en est pas complétement empêchée. En supposant exactes l'évaluation du point et celle de la vitesse, l'écart entre la position vraie et la position estimée comprendra encore deux termes : la dérive du bâtiment par l'action des courants marins et cette dérive par le vent dont nous venons de parler. Toute erreur sur la fixation de cette dernière se porte sur l'autre et par conséquent sur l'évaluation du courant marin qui la produit.

On s'est aussi servi, trop rarement, pour déterminer les courants, de bouteilles lancées à la mer et portant sur un papier qu'on y a introduit la date du jour et la position géographique du lieu où on les a jetées par-dessus bord. Si chaque navire jetait ainsi une bouteille à la mer à l'heure où il prend son point, et si, de plus, il relevait toutes les bouteilles qu'il rencontre pour prendre note de leur contenu et y ajouter l'heure et le lieu de la rencontre, la question des courants marins marcherait d'un pas rapide; mais cette mesure est encore appliquée rarement.

En l'absence de documents directs, Maury s'est servi des observations thermométriques pour déterminer dans quel sens se meuvent les courants marins. Si en un point des mers la température dépasse d'une manière nette la température moyenne de la latitude du lieu où l'on se trouve, on est en droit d'en conclure que les eaux dans lesquelles on a plongé le thermomètre n'appartiennent pas à cette latitude, qu'elles viennent de régions plus chaudes; si la température observée est, au contraire, plus basse, on se trouve entre deux hypothèses : ou bien les eaux viennent des latitudes plus froides, ou bien elles viennent de couches plus profondes ramenées à la surface; car la température de la mer décroît à mesure qu'on y plonge plus bas, les eaux froides tendant naturellement à descendre au fond par leur excès de densité. Cette dernière conclusion serait cepen-

dant faussée pour les hautes latitudes par la fonte des glaces, dont l'effet est de rendre les eaux plus légères tout en abaissant leur température.

L'étude des parages fréquentés par certains animaux marins peut également fournir de précieuses indications dans le même sens. Ainsi, tandis que le cachalot vit seulement dans les eaux chaudes, la baleine franche, au contraire, fréquente les mers polaires et ne pourrait vivre dans les régions équatoriales. Maury a tracé sur ses cartes les courbes limites des régions où l'on rencontre chacune de ces espèces de cétacés. Partout où la courbe limite des baleines franches se renfle vers l'équateur, c'est l'indice de l'apparition des eaux froides dans ces parages; partout où la courbe limite des excursions du cachalot se rapproche du pôle, on doit admettre l'existence d'un courant d'eaux chaudes. Il n'est pas jusqu'à l'apparence de la mer qui ne puisse fournir des indications utiles. La houle soulevée par les vents ne dépend pas seulement de la vitesse absolue du vent; elle dépend de l'excès de cette vitesse sur celle de la mer, de même que la pression de l'air sur un objet dépend de la différence de leurs vitesses. Un vent soufflant à l'encontre d'un courant marin y produira donc une plus forte houle que le vent de direction opposée.

Enfin, dans les mers polaires, les glaces détachées que l'on rencontre flottant à des latitudes variables marchent dans des directions composées de celles des courants superficiels et profonds. Leurs déplacements sont l'objet d'interprétations raisonnées.

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX COURANTS

Nous avons reproduit (planche VII), en les réduisant, la carte générale des courants marins dressée par Maury. Nous avons cherché à y proportionner les ombres à l'intensité du mouve-

ment des eaux, dont le sens est indiqué par les flèches. Les mouvements de surface y sont seuls marqués. Cette carte accuse nettement l'existence de grands courants d'Est dans les mers équatoriales. Les courants extratropicaux sont moins définis, plus vagues, et dans les latitudes élevées, surtout de l'hémisphère Sud, la dérive des eaux polaires vers les régions tempérées semble dominer presque partout. Nous retrouvons donc une part d'influence pour chacune des causes motrices énumérées plus haut. Nous allons examiner successivement chacun des principaux courants. Le plus remarquable et le plus important pour nous est celui qui contourne l'Atlantique Nord : c'est par lui que nous allons commencer.

§ VI. — Courant équatorial de l'Atlantique, Gulf-stream.

Ce courant part des côtes occidentales de l'Afrique à la naissance de l'alizé du N.E. Sa direction générale est alors du N.N.E. au S.S.O. Il s'infléchit graduellement vers l'O. à mesure qu'il progresse, et en même temps il s'élargit considérablement. Avant de quitter les côtes d'Afrique, il a même abandonné une première branche que nous retrouverons dans le golfe de Guinée. A quelque distance de la côte d'Amérique, une seconde branche s'en détache et se dirige vers le Sud parallèlement à la côte du Brésil, dont elle prend le nom. Le courant principal remonte, au contraire, un peu dans la direction du Nord en suivant la côte de Guyane; il reçoit les eaux de l'Amazone et de l'Orénoque et pénètre dans la mer des Antilles. Une partie passe au Nord de ces îles; l'autre passe au Midi et vient dans le golfe du Mexique en contourner les côtes.

Pendant ce long trajet, le courant équatorial est soumis à une évaporation très-active que ne compensent ni les pluies

équatoriales ni les eaux que lui versent les fleuves; son degré de salure est plus élevé dans le golfe du Mexique qu'à son origine. Sa température monte également à mesure que ses eaux sont restées plus longtemps exposées à l'ardeur d'un soleil presque vertical; aussi le golfe du Mexique possède-t-il la température la plus élevée de tout l'Atlantique. Arrivé sur les côtes américaines, le courant équatorial s'infléchit vers le Nord en suivant ces côtes et prend le nom de *Gulf-stream* (rivière du golfe).

Le Gulf-stream est le plus célèbre et le mieux connu de tous les courants marins; son action sur les climats de l'Europe est extrême. On avait cru d'abord qu'il prenait naissance dans le golfe du Mexique, tandis qu'il n'est que le prolongement du courant équatorial. Il garde pendant toute la durée de son parcours des traces de la température élevée des eaux qu'il reçoit.

Le Gulf-stream sort du golfe par la passe de la Floride, semblable à un fleuve majestueux dont le courant dépasse en rapidité ceux du Mississipi et de l'Amazone; mais il se trouve renforcé par des branches dérivées du courant équatorial et passant au nord des Antilles. Sa direction est d'abord du S. O. au N. E. en suivant d'un peu loin les côtes d'Amérique dont il est séparé par un courant inverse à température beaucoup moins élevée. A partir des États-Unis, il court franchement à l'Est, puis il s'étale sur les côtes occidentales de l'Europe qu'il enveloppe dans toute leur étendue. Une portion de ses eaux redescend vers le Sud le long des côtes d'Espagne et de Portugal pour se réunir directement au courant équatorial; une autre partie contourne l'Irlande et l'Angleterre pour redescendre par le canal Saint-Georges et la mer du Nord; le reste pénètre jusque dans les mers polaires en suivant les côtes de la Norwége. Alors qu'il traverse l'Atlantique de l'Ouest à l'Est, son lit se déplace avec les saisons; il atteint à peine en hiver le 41e degré

de latitude Nord; il monte jusqu'au 46ᵉ degré en septembre, époque où la température de l'Atlantique Nord est à son maximum. En dehors de ces oscillations régulières, il en éprouve d'autres accidentelles. Tantôt il reste éloigné de nos côtes; tantôt il s'en rapproche, au contraire, ainsi que l'a constaté le major Rennel dans l'hiver de 1821 et 1822 si remarquable par sa température chaude et humide, par des coups de vent presque continuels d'entre O. et S. O. et par des pluies excessives.

Les eaux du Gulf-stream diffèrent des eaux voisines par leur transparence, leur couleur, leur température, leur degré de salure et leur densité. La distinction est assez tranchée sur les côtes des États-Unis pour que l'œil puisse saisir la ligne de démarcation. Cela est vrai surtout de son bord N. O. ou de sa rive gauche, et l'on peut voir la moitié d'un navire dans les eaux de Gulf-stream et l'autre en dehors.

Jusqu'aux côtes de la Caroline, les eaux du Gulf-stream paraissent d'un bleu indigo. Cette teinte plus foncée vient probablement de ce que les eaux ayant subi une évaporation considérable sont plus salées. On sait, en effet, que dans les salines on juge du degré de concentration des eaux d'après le degré de la teinte bleue qu'elles acquièrent, et, sur la Méditerranée, on peut reconnaître de très-loin les estuaires des principaux fleuves par la couleur verdâtre que leurs eaux donnent à la mer et qui tranche sur le bleu des parties voisines où le mélange ne s'est pas étendu. Ce serait à la même cause, un moindre degré de salure, qu'il faudrait attribuer la teinte verdâtre des mers polaires, tandis que les mers équatoriales, et surtout l'océan Indien, sont d'un bleu foncé. Quoi qu'il en soit de cette explication, M. Thomassy, qui a étudié avec un soin tout particulier la densité de l'eau de mer, a trouvé 3,5 pour 100 de sel dans le golfe de Gascogne, ; 4,4 pour 100 dans la région des alizés; 4 pour 100 vis-à-vis Charleston dans le Gulf-stream, qui a

pourtant reçu les eaux du Mississipi et les pluies équatoriales.

Les eaux de Gulf-stream n'ont pas le même degré de chaleur sur toute leur largeur ; il résulte des travaux de la commission hydrographique des États-Unis que le courant principal se compose de courants parallèles dont les températures sont inégales. Sa profondeur est de plusieurs centaines de mètres près de son origine ; mais à mesure qu'il avance dans sa route, il s'étale sur une plus large surface et son épaisseur diminue. A sa sortie du golfe du Mexique, sa température maximum est de 30° : elle dépasse de 5° la température de l'Océan à latitude égale. Pendant l'hiver même, par le travers du cap Hatteras, vers le 35e degré de latitude, sa température à la surface est encore de 26 à 27° ; à une profondeur de 900 mètres, elle n'est plus que de 14°. Par le travers des caps de la Virginie, 50 lieues plus loin, la température de la surface n'a diminué que de 1°, mais la couche de 14° s'est relevée de 180 mètres. En général, un changement de 10° en latitude n'y produit guère qu'un abaissement de 1°, en sorte qu'après avoir parcouru près de 5000 kilomètres dans le Nord, ce courant conserve encore en hiver la chaleur de l'été, et peut-être de 10 à 15° plus tiède que les eaux voisines. C'est ainsi qu'après avoir atteint le 40e parallèle, on le voit recouvrir les eaux froides de cette région sur une surface de plusieurs milliers de lieues carrées et étendre de la sorte sur l'Océan un véritable manteau d'eau chaude. Son allure est alors plus lente, mais aussi la quantité de chaleur qu'il cède à l'air est plus considérable. Le capitaine Duchesne, du vapeur transatlantique *l'Europe*, voulut bien, dans une de ses traversées de New-York en France, en novembre 1865, prendre la température de l'air et de la mer. Ses résultats donneront une idée de l'influence de ce grand courant ; nous les résumerons dans le tableau suivant :

Date.		Heure.	Lat. N.	Long. O.	Températures de l'air,	de la mer.	Différ.
10	novembre	9h m.	40°,10′	72°,34′	8°	11°	+ 3°
11	—	4h s.	40, 16	70, 56	5	14	9
11	—	8h s.	40, 23	70, 05	4	15	11
12	—	9h m.	40, 56	67, 15	4	21	17
12	—	midi.	41, 05	66, 30	5	21	16

Le 10 novembre, à 8 heures du matin, l'air et l'eau avaient la même température; la différence a commencé à devenir sensible dans l'intervalle des quelques lieues parcourues de 8 heures à 9 heures; le bord occidental du courant est, du reste, marqué par un fort clapotis. Aux deux dernières observations, « la mer fumait comme une chaudière en ébullition. » La vitesse du courant était d'environ 1 kilomètre à l'heure. Tous nos vents d'Ouest ont parcouru sa surface; ils s'y sont attiédis, mais en même temps ils s'y sont chargés de vapeur. C'est à lui que les côtes Ouest et Nord-Ouest de l'Europe doivent leur température relativement douce, alors que les côtes du Labrador sont emprisonnées par une barrière de glaces. Cet excès de chaleur provient des régions intertropicales, et les courants marins, comme les courants de l'atmosphère, en uniformisant la composition des eaux et celle de l'air, ont de plus pour effet de diminuer l'écart des températures du globe entre l'équateur et les pôles; mais dans ce double travail de répartition, les parts des diverses régions sont rendues très-inégales par l'effet des contre-courants ou des courants de dérive venus du Nord[1].

Pendant trois siècles, les navigateurs traversèrent le Gulf-stream sans qu'il vînt à aucun d'eux l'idée de se servir du courant pour rectifier sa longitude; cependant, son cours est

[1] L'influence du Gulf-stream sur les températures de l'Atlantique Nord se trouve nettement accusée dans la carte très-belle et très-détaillée, construite par M. Charles Sainte-Claire-Deville et publiée dans l'*Annuaire de la Société météorologique de France*, t. I, an 1853, p. 160.

assez régulier et assez tranché sur la rive gauche pour que, d'après l'aspect et la température de ses eaux, on puisse estimer la distance à laquelle on se trouve des États-Unis. Franklin y songea le premier, et, dans sa *Navigation thermométrique*, il indiqua les règles à suivre pour y parvenir. C'est un secours précieux pour le navigateur dans ces régions où les atterrages sont rendus si difficiles, surtout en hiver, par les brouillards intenses qui recouvrent la mer.

La direction remarquable du Gulf-stream dans son passage d'Amérique en Europe a donné lieu à d'intéressantes discussions sur les causes qui la produisent. En la comparant avec la configuration des côtes de l'Amérique longées par le courant dans une partie de son parcours, on s'est demandé si la branche supérieure, marchant de l'Ouest à l'Est, ne serait pas un simple effet d'inflexion produite par les bancs de Terre-Neuve. Une fois admises l'existence du Gulf-stream et son origine dans le golfe du Mexique, abstraction faite des causes auxquelles nous rattachons son mouvement, le simple effet de la rotation terrestre suffirait pleinement à rendre compte de son inclinaison vers l'Est; mais cette rotation ne suffirait plus à expliquer le redressement vers le Nord-Est de la branche dérivée vers les mers d'Islande. Pour nous, le Gulf-stream n'est nullement un courant isolé limité aux lieux où il porte son nom. C'est, ainsi que nous l'avons déjà dit, une portion d'un circuit complet beaucoup plus étendu et dont les branches principales résultant surtout de l'action des vents, sont : d'une part, le courant équatorial, Est-Ouest, allant de l'ancien au nouveau continent; et de l'autre, le courant Ouest-Est, allant des parages de Terre-Neuve aux côtes Ouest de l'Europe. Le courant ascendant des côtes américaines, comme le courant descendant des côtes d'Europe et d'Afrique, ne sont que des courants de jonction produits par l'action des continents qui limitent le parcours des premiers

On rencontre, il est vrai, le long des côtes des États-Unis, un courant d'eaux froides marchant vers le Midi et provenant des eaux continentales ou de la fusion des glaces polaires. Ce courant se substitue aux côtes elles-mêmes, et le Gulf-stream longe ces eaux froides sans que les côtes cessent d'être la cause première de la déviation produite : il faut bien peu de chose pour modifier la direction d'un courant circulant dans un lit fluide lui-même. Il en est de même de cette autre circonstance qu'aux caps Hatteras, Lookout et Fear, on trouverait des bancs de sable dirigés perpendiculairement au Gulf-stream et tendant à s'accroître au lieu d'être rongés par ses eaux. Ces bancs sont produits par l'accumulation des dépôts de matières entraînées par les courants froids qui longent la côte et il en est ainsi du banc de Terre-Neuve où le même effet se reproduit sur une beaucoup plus grande échelle. Le Gulf-stream n'atteint ni le fond ni la rive où il trouverait des résistances trop grandes. Le courant froid descendant vers le Sud suit les contours de la côte ; le Gulf-stream à son tour suit les sinuosités du courant froid. Au lieu de glisser directement sur la rive, il glisse sur l'espèce de coussin qui la borde, et il le fait avec d'autant plus de facilité que le mouvement de rotation de la terre tend déjà à le reporter à l'Est. A la hauteur de Terre-Neuve, il n'a plus d'autre rive gauche que les eaux polaires débouchant par le détroit de Davis dans l'Atlantique. Nous verrons d'ailleurs tout à l'heure le rôle de ces divers courants dans l'exhaussement du lit des mers.

Une branche très-importante du Gulf-stream se relève vers le Nord-Est à partir du 45e degré de latitude ; elle passe entre l'Islande et les côtes Nord-Ouest de l'Angleterre et de la Norwége ; elle s'étend jusqu'au Spitzberg, dont elle adoucit le rude climat, et probablement jusque dans la mer circumpolaire. Ce prolongement du Gulf-stream avait fait supposer par Maury l'existence en quelque point des régions désolées du pôle d'une mer libre de glaces et d'un climat moins rigoureux. Cette in-

duction a été vérifiée par l'expérience. De Haven, Penny, Kane ont vu cette mer libre. Le docteur Kane l'a trouvée au Nord du 82ᵉ degré de latitude, après avoir parcouru 40 ou 50 lieues dans les glaces. Elle était d'une étendue telle que l'œil n'en apercevait pas les limites.

L'eau chaude ne peut pas affluer ainsi vers le pôle sans que des courants contraires n'en retirent des quantités égales d'eau froide. Entre les côtes de Norwége et du Groenland, le Gulf-stream est en effet bordé des deux côtés par des courants descendant du Nord. Ces courants s'étendent probablement jusque sous le Gulf-stream qui coulerait sur un lit creusé au milieu de leurs eaux. Il arrive, cependant, que les eaux chaudes opérant la fusion des glaces polaires donnent lieu à des eaux peu chargées de sel et plus légères malgré leur température moins élevée. Le Gulf-stream plonge alors au-dessous de ces eaux froides, comme il plonge au-dessous des glaces polaires avant d'arriver à la mer libre. Un effet de ce genre se produit en particulier dans le détroit de Davis. Le courant polaire y est superficiel et glisse à la surface du courant chaud du S. O.; il accroît la rigueur du climat du Nord-Est de l'Amérique et du Groenland, tandis que le notre est adouci par le Gulf-stream. C'est là un des effets les plus remarquables de l'influence du degré de salure dominant celle des températures, dans les courants de dérive dus aux inégalités de densité des eaux.

L'existence du courant du Nord dans le détroit de Davis et dans la portion de l'Atlantique où il débouche est constatée par le transport des glaces qui, après la débâcle des mers Polaires, viennent s'accumuler et fondre dans les parages de Terre-Neuve. Sa continuité pendant l'hiver est démontrée par ce fait que les navires américains envoyés sous les ordres du lieutenant de Haven à la recherche de sir John Franklin, ayant été enfermés dans les glaces pendant neuf mois de l'hiver, ont, pendant ce temps, dérivé de près de 400 lieues au Sud avec la masse en-

tière des glaces dans lesquelles ils étaient emprisonnés.

L'existence du courant sous-marin, dans le même détroit, est établie sur d'autres faits non moins remarquables. Il se détache souvent du rivage d'immenses blocs de glace nommés *ice-bergs*. Ces blocs soutenus par les eaux les dépassent quelquefois de plusieurs dizaines de mètres, ce qui suppose une étendue considérable pour la partie immergée : celle-ci doit être au moins six fois et demie plus considérable que celle qui surnage, à cause des différences de densité de la glace et de l'eau de mer. Or, on voit fréquemment ces ice-bergs remonter vers le Nord malgré le courant de surface dirigé vers le Sud, et malgré la glace dont la mer est couverte.

Le capitaine Duncan, du baleinier anglais *Dundee*, décrit dans le récit intéressant qu'il a publié (*Voyage au détroit de Davis*, 1826-1827):

« 18 *décembre* 1826. — Rien d'imposant comme de voir ces immenses ice-bergs se diriger au N. E.; la mer est complétement prise, et c'est en brisant cette épaisse couche de glace qu'ils se frayent un passage. »

Et plus loin :

« 25 *février*, lat. 68° 37′ N., long. 65° O. environ. — Les craintes que faisait naître hier l'approche de l'ice-berg ne se réalisent que trop aujourd'hui. Vers 5 heures après midi, il aborda la surface de glace dans laquelle nous étions enfermés, et la brisa sur une étendue de plusieurs lieues avec un bruit comparable à celui d'une décharge de cent pièces d'artillerie: ses dimensions le faisaient ressembler à une véritable montagne. Chacun s'attendait à voir le navire mis en pièces, car l'ice-berg vint très-près de notre arrière et n'en était séparé que par des masses de glaces brisées lors du premier choc, mais réunies ensuite en un tout compact par le fait de cette énorme pression. Sa vitesse était d'environ quatre nœuds à l'heure ; la perte du navire semblait inévitable.

« 24 *février*. — L'ice-berg est toujours en vue, mais il dérive rapidement vers le N. E.

« 25 *février*. — L'ice-berg a disparu dans le N. E. »

Si nous jetons actuellement un regard d'ensemble sur les courants de l'Atlantique Nord, nous verrons qu'ils constituent un système de rotation complète, dans lequel les mêmes eaux viennent en grande partie, avec leur vitesse acquise, repasser successivement par les points où les forces d'impulsion agissent en permanence. Ce sont là des conditions éminemment favorables à l'activité du circuit et qui ne se retrouveront réunies au même degré dans aucune autre partie des Océans. Une portion notable de la branche supérieure du circuit dirigée de l'Ouest à l'Est, s'en détache, il est vrai, vers le milieu de son cours pour gagner les hautes latitudes et les mers Arctiques. La vitesse acquise emportée par lui n'est toutefois pas entièrement perdue pour le circuit principal ; car des courants de retour suivent les côtes occidentales de l'Europe et viennent se réunir à la branche descendante des Canaries. L'orientation des côtes suivies par cette branche descendante, la disposition des côtes américaines et l'avancement du cap San-Roque qui se trouve presque exactement dans la direction prolongée des côtes d'Afrique, toutes ces particularités donnent au courant les moyens de franchir, par le seul effet de sa vitesse, l'espace qui sépare les deux continents et de ne perdre pour le circuit principal que les eaux dérivées dans les courants du Brésil et du golfe de Guinée.

Par leur configuration concave, les côtes Ouest de l'Atlantique dans les parages des eaux mexicaines viennent ensuite redresser sans perte aucune le courant équatorial qui se résume avec toute sa vitesse dans le Gulf-stream. Celui-ci, à son tour, peut franchir l'Atlantique de l'Ouest à l'Est à ses latitudes moyennes, et, malgré le peu de fixité des vents dans ces parages, en recevoir encore en somme une impulsion qui s'ajoute à celle des alizés.

Des conditions analogues se retrouveront dans le bassin du Pacifique Nord; mais la situation est tout autre dans les régions Sud des deux grands Océans, ainsi que dans l'Océan Indien.

§ VII. — Mers de Sargasse.

Au centre du grand circuit océanique dont le Gulf-stream fait partie, entre les 17e et 38e degrés de latitude Nord et les 50e et 80e degrés de longitude Ouest, sur une étendue de plusieurs milliers de lieues carrées, la mer est couverte d'une végétation abondante et d'herbes flottantes en si grande quantité que la marche des navires en est souvent retardée. On appelle cet espace *mer de Sargasse* ou mer de varech. Lorsque les compagnons de Christophe Colomb l'aperçurent, ils se crurent parvenus aux limites des mers navigables. Depuis Colomb, cette mer n'a pas changé de place.

Dans les premiers temps, on supposa que dans cette région des mers devaient se trouver de nombreux écueils sur lesquels croissaient les *fucus*, et dont ils se trouvaient accidentellement arrachés par l'effort des vagues. Les sondages du commandant Lee du navire américain *Dolphin*, montrent que l'Océan, dans ces parages, a plus de 2,000 mètres de profondeur. D'un autre côté, M. Leps, alors capitaine de frégate, a inséré dans les *Annales hydrographiques* de 1857 une note fort intéressante sur la mer de Sargasse et dans laquelle il démontre que les plantes qui la recouvrent naissent et vivent à la surface de l'eau.

La mer de Sargasse n'est pas un phénomène spécial à l'Atlantique; on en rencontre dans tous les grands Océans. Nous parlerons plus loin de celle qui existe dans l'Océan Pacifique Nord. Il y en a une dans l'Océan Indien, entre le courant chaud de Mozambique et le courant qui remonte au Nord de la côte

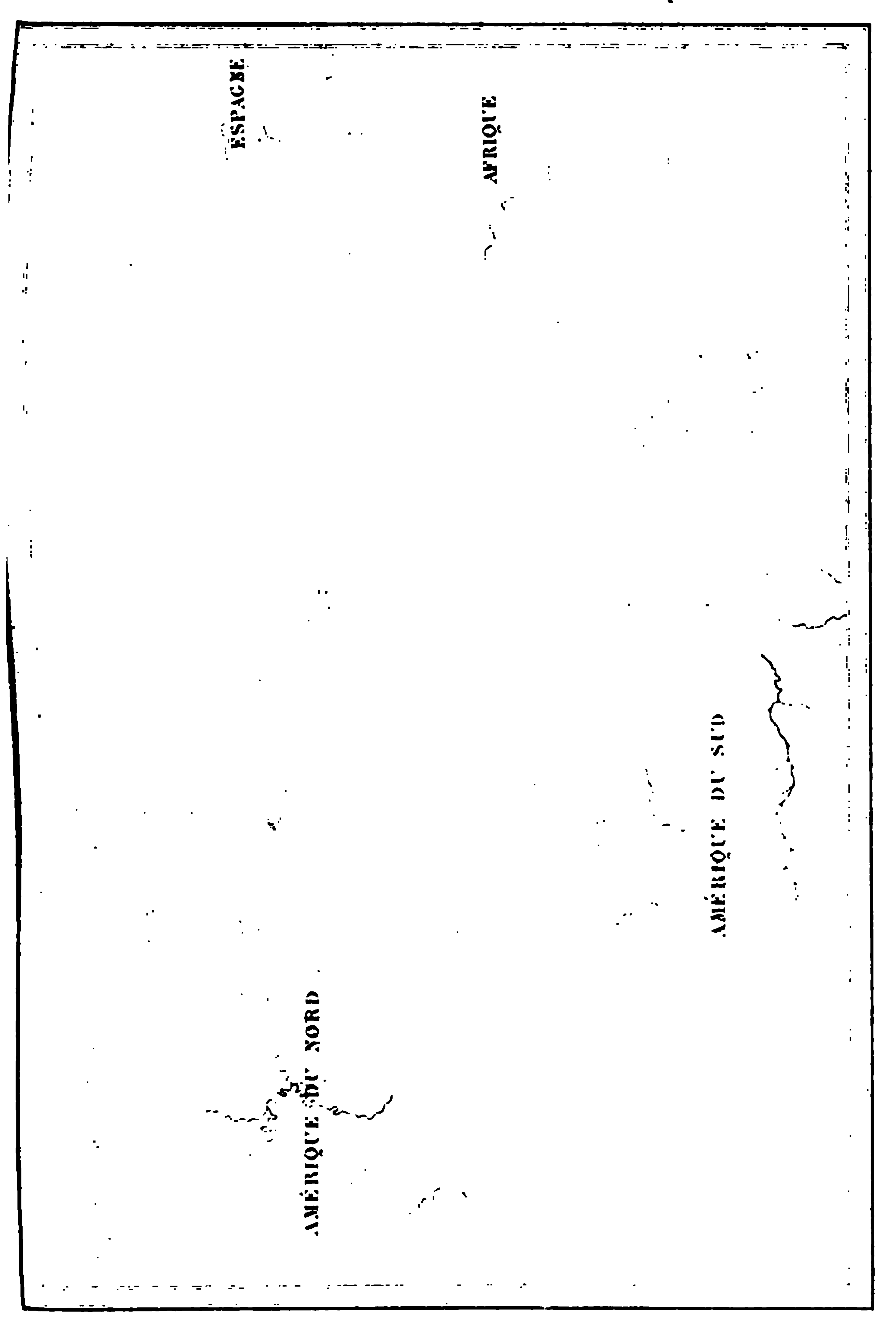
occidentale d'Australie. Le lieutenant Varley en a trouvé une dans le Pacifique Sud, entre les 50° et 60° parallèles Sud et les méridiens de 142° et 180° Ouest. Dans l'Atlantique Sud, Maury cite deux parages abondants en végétaux, l'un au Nord des Malouines, l'autre à l'Ouest du cap de Bonne-Espérance, entre les méridiens 2° et 15° Ouest.

Il nous reste pour terminer l'étude des courants de l'Atlantique Nord à examiner l'influence qu'ils peuvent avoir sur la configuration du fond des mers. C'est là une question d'un haut intérêt au point de vue de la formation des diverses couches de la croûte terrestre.

§ VIII. — Carte du fond de l'Atlantique.

La profondeur de l'Océan est très-variable et le lit sur lequel il repose présente des inégalités du même ordre que celles que l'on rencontre à la surface des continents. Ross, Dupetit-Thouars[1] et d'autres officiers des marines française, anglaise et hollandaise avaient essayé d'opérer des sondages à de grandes profondeurs; mais les appareils imparfaits mis en usage les avaient conduits à des résultats généralement trop élevés. Maury appela de nouveau l'attention sur ce genre de recherches. Les officiers de la marine américaine furent chargés de sonder au moins une fois dans chaque région de l'Océan comprenant 5° en longitude et en latitude; les sondes furent perfectionnées; et avec le concours des marins des divers États, on parvint à connaître assez

[1] *Voyage autour du monde sur la frégate la Vénus*, commandée per Abel Dupetit-Thouars. La partie physique, rédigée par M. de Tessan, ingénieur-hydrographe faisant partie de l'expédition, contient des données d'un haut intérêt pour la météorologie des Océans.


ESPACGNE
AFRIQUE
AMÉRIQUE DU SUD
AMÉRIQUE DU NORD

approximativement la configuration du lit de l'Océan. Ces recherches se multiplient d'ailleurs pour les besoins de la télégraphie maritime.

Une des plus grandes difficultés de l'opération du sondage provient de l'entraînement de la ligne de sonde par les courants marins, en sorte que la ligne continue à *filer* alors même que son extrémité a touché le fond. Il est donc nécessaire d'y suspendre un poids assez lourd pour que la descente soit très-rapide et que l'allégement dû au contact avec le fond devienne nettement perceptible pour l'opérateur par le ralentissement de la vitesse avec laquelle s'effectue le déroulement de la ligne; mais alors la levée de l'appareil devient difficile et même impossible. Pour y remédier, on a imaginé divers appareils. Nous reproduisons (fig 28) celui avec lequel ont été faites la plupart des grandes sondes américaines et qui porte le nom de son inventeur, Brooke, officier de la marine des États-Unis. Un boulet de 64, pesant 29 kilogr., est percé de part en part d'une ouverture cylindrique dans laquelle passe librement une tige de fer AB. Cette tige porte à son extrémité inférieure une cavité cylindrique C garnie de suif intérieurement et destinée à recueillir des échantillons du fond des mers; elle est munie à son extrémité supérieure de deux leviers mobiles et à crochet. Un disque de cuir *e*, évidé en son centre, est passé au-dessous du boulet et se trouve retenu par deux fils de fer aux crochets des deux leviers. A ces derniers sont fixés les deux brins de l'extrémité inférieure de la ligne de sonde. Tant que le système est librement suspendu à la ligne, les deux leviers *d* sont relevés et le boulet est retenu; mais dès que la tige AB touche le fond,

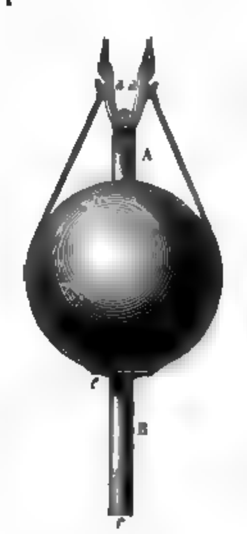


Fig. 28. — Appareil de Brooke pour les sondages à la mer.

le poids du boulet fait tomber les leviers, le boulet se décroche et devient libre. Avec cet appareil, et en opérant dans un canot, afin de se maintenir avec quelques avirons dans la verticale de la ligne, on a pu obtenir des sondes assez exactes à toute profondeur. Nous reproduisons (planche VIII), en la réduisant, la carte du fond de l'Atlantique depuis le parallèle de 50° Nord jusqu'au parallèle de 10° Sud. Cette carte n'entre pas dans tous les détails de la configuration du fond ; mais en partageant celui-ci en cinq zones, dont les profondeurs diffèrent de 1000 brasses anglaises, ou de 1829 mètres, elle donne déjà une idée approchée des faits observés. Les teintes les plus foncées correspondent aux profondeurs les plus grandes.

Vers le 37e parallèle et entre les 50e et 70e degrés de longitude Ouest se trouve la région la plus profonde. Les sondes y ont accusé plus de 9000 mètres; mais cette évaluation pourrait se trouver un peu exagérée par l'effet du Gulf-stream.

Du cap Raze, sur l'île de Terre-Neuve, au cap Clear, en Irlande, s'étend un vaste plateau remarquablement égal et uni, qui a déjà reçu le nom de *plateau télégraphique*. La distance à parcourir est d'environ 3000 kilomètres sur une profondeur de 3000 mètres. C'est là qu'eut lieu le premier essai pour la pose d'un câble destiné à relier l'Amérique à l'Europe. L'essai n'a pas réussi ; mais tout fait espérer qu'une seconde tentative sera plus heureuse.

C'est sur ce même plateau que l'appareil Brooke a recueilli les premiers échantillons que l'on s'est procurés du fond de l'Océan. Ces échantillons présentaient à l'œil nu une apparence argileuse; examinés au microscope par le professeur Bailey, de West-Point (États-Unis), ils se trouvèrent composés exclusivement de coquilles microscopiques dans un état de conservation parfaite. Ces coquilles étaient presque toutes calcaires et de la famille des *foraminifères ;* un petit nombre seulement appartenant aux *diatomacées* étaient siliceuses. Dans l'Océan In-

dien et dans la mer de Corail au contraire, entre l'Australie et la Nouvelle-Guinée, les échantillons extraits d'une profondeur de 3900 mètres renfermaient principalement des spicules d'éponge incrustées de silice, les unes en forme de fuseaux ou d'aiguilles, les autres terminées en tête d'épingles, quelques-unes en fer de lance. De nos jours même, nous voyons donc se former au fond des mers des terrains de natures très-diverses, les uns siliceux, les autres calcaires. Ces terrains s'élèvent lentement composés des débris microscopiques d'animaux actuellement vivant presqu'à la surface des mers. Des terrains de même origine se rencontrent aux sommets des plus hautes montagnes du globe et y présentent plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Les coquilles y ont des dimensions presque pareilles dans la craie, mais de plus en plus volumineuses à mesure que l'on pénètre dans des couches géologiques d'une époque plus reculée; les animaux dont elles formaient la charpente solide étaient-ils plus nombreux à ces époques éloignées qu'ils ne le sont actuellement? Peut-être. Leur nombre était cependant restreint par la solubilité dans l'eau de l'air nécessaire à leur existence, et on chercherait en vain dans leur multiplicité des motifs pour restreindre les limites lointaines de l'âge de notre globe.

Les matières terreuses entraînées par les fleuves à l'état de suspension dans leurs eaux forment des dépôts d'un accroissement rapide, mais bornés à de faibles distances des embouchures. Quelquefois, cependant, des courants marins longeant les côtes transportent les sables par étapes successives à d'assez grandes distances de leurs lieux d'origine et deviennent une cause de graves inconvénients pour certains ports qu'ils obstruent.

Les sels siliceux ou calcaires extraits de la mer par les animaux qu'elle nourrit, lui sont rendus en dissolution dans les eaux des fleuves; leur quantité est donc très-limitée de nos jours, bien qu'elle ait pu l'être moins aux époques géologiques

antérieures. Quelque faible que soit cette quantité, les échantillons ramenés par les sondes montrent qu'elle contribue à élever lentement le fond des mers actuelles; et dans cette opération, les courants marins semblent jouer un rôle important. Les coquilles des foraminifères et des diatomacées, si petites qu'il faut le secours du microscope pour en distinguer les formes, et dont les animaux ont vécu près de la surface des mers, ont dû rester longtemps en suspension dans l'eau, être entraînées par les courants, et se déposer loin des lieux où elles se sont développées.

En examinant la carte des profondeurs de l'Atlantique et en la comparant à la carte des grands courants dont cette mer est animée, on remarque cette coïncidence au moins singulière que les courants les plus actifs sont placés au-dessus des régions les plus profondes. La hauteur des eaux dans ces régions étant de 7000 ou 8000 mètres, alors que les courants ne descendent pas au-dessous de 800 ou 900 mètres, on ne peut pas admettre que ces derniers aient pu creuser leur lit; mais ne pourrait-on concevoir que les coquilles microscopiques se soient déposées de préférence dans les régions les plus calmes? Des inégalités sans doute ont pu préexister au dépôt des coquilles ou se former ultérieurement par le jeu des forces souterraines, mais beaucoup d'entre ces inégalités peuvent aussi n'avoir d'autre origine que l'action des courants sur les dépôts successifs. L'influence de ces courants sur l'exhaussement du lit des mers est évident du moins dans les parages de Terre-Neuve. Là les bancs sont accores du côté du midi, ils y sont coupés presque verticalement, tandis qu'au Nord ils s'abaissent d'une manière graduelle. Dans ces parages convergent tous les *ice-bergs*, tous les glaçons entraînés des mers polaires par la dérive des eaux; ils viennent s'y fondre à la chaleur du Gulf-stream. Or ces glaçons, souvent arrachés aux côtes de l'Amérique ou du Groenland, apportent avec eux des terres ou du gravier qu'ils déposent sur

leur passage. On ne peut admettre que du côté du Gulf-stream, ces dépôts encore sans consistance, soient rongés par les eaux à des profondeurs de 4 à 5000 mètres, alors que le Gulf-stream n'a dans cette partie de son cours que quelques centaines de mètres de profondeur et coule évidemment sur un lit d'eau froide. Maury et tous les météorologistes avec lui repoussent avec raison cette interprétation[1]. Mais toutes les matières en suspension peuvent se déposer sur place au sein d'une eau relativement tranquille; tandis que si elles arrivent dans le Gulf-stream, elles sont entraînées au loin. Le Gulf-stream ne peut donc avoir d'autre effet que de disperser, avant leur dépôt, les matériaux apportés par les glaces et pénétrant dans son cercle d'action. Il ne ronge pas le dépôt, il l'empêche de se former.

§ IX — Courants du Pacifique Nord.

Le Pacifique est fermé vers le Nord d'une manière presque complète; il communique avec les mers du pôle Arctique par le seul détroit de Behring dont la section est très-faible. Il est au contraire largement ouvert vers le Sud et la mer y présente un développement d'environ 4000 lieues sur l'équateur. La circulation dans ce vaste bassin présentera donc une partie des caractères que nous lui avons trouvés dans l'Atlantique Nord ; mais on y remarquera des différences dues à la disparité des conditions où elle se produit

Nous avons vu que l'accélération du mouvement circulatoire sur l'Atlantique était en grande partie le résultat de la continuité du circuit. Dans le Pacifique Nord cette continuité est as-

[1] D'après M. de Tessan la pente méridionale et accore du banc de Terre-Neuve est formée par des roches.

surée du côté du pôle ; mais elle est très-imparfaite dans sa partie la plus importante, le Sud et le Sud-Ouest, là où la force motrice est la plus active.

Dans l'Océan Pacifique, nous trouvons, comme à la surface de l'Atlantique et dans les environs de l'équateur, un grand mouvement des eaux dirigé de l'Est à l'Ouest, et c'est encore dans les parties occidentales de la zone tropicale que la température de la mer est la plus élevée et le degré de salure le plus prononcé. Mais dans son long parcours, ce courant laisse dériver vers le Sud une énorme proportion de ses eaux. Arrivé dans les parages de la Nouvelle-Hollande et de l'archipel de la Malaisie, il trouve une région incomplétement fermée. Une partie de ses eaux passe encore entre la Nouvelle-Hollande et les îles de la Sonde pour s'épanouir dans l'Océan Indien ; l'autre passe au Nord de la Nouvelle-Guinée, ou se réfléchit sur les côtes de Sumatra et de Java pour former le *Gulf-stream* du Pacifique.

Voici, d'après M. Ploix, le résumé des observations faites par les Américains au sujet de ce dernier courant dont le trajet est remarquable par ses brouillards et ses orages et qui rend les parages des îles Aléoutiennes aussi brumeux que ceux de Terre-Neuve.

Le Gulf-stream du Pacifique prend son origine dans le courant équatorial ; il s'en sépare à l'extrémité Sud de Formose par 22° N. et 120° E. ; il s'infléchit vers le Nord, suit la côte orientale de Formose, et, arrivé par 30° N., il s'arrondit vers le Nord-Est et va baigner les côtes Sud-Est et Est du Japon, jusqu'à la hauteur du détroit de Sangar.

Étroit près de son origine comprise entre Formose et Majicosima, il a alors 50 lieues environ de largeur. Il se développe au Nord de cette dernière île, atteint Loutchou et Bonin, point au Nord duquel il a bientôt acquis une largeur de 250 lieues.

Ses limites au Nord-Ouest sont parfaitement tranchées ; un changement de 5° à 10° dans la température de la mer les ac-

cuse nettement. Ses limites au Sud-Est et à l'Est sont loin de pouvoir être aussi bien déterminées. Il y reçoit en effet successivement des eaux dérivées du courant équatorial. Le long de ses bords et aussi dans sa partie centrale, où des tournants d'eaux et des contre-courants se produisent près des îles, on observe des raz de marée violents qui ressemblent souvent à des brisants.

Les Japonais connaissent très-bien ce courant dont l'effet est d'adoucir singulièrement le climat de la partie méridionale de leur île; ils lui donnent le nom de *Kuro-Siwo*, courant noir, à cause de la couleur foncée de ses eaux analogue à celle du Gulf-stream.

Au Nord du détroit de Sangar, le courant s'éloigne de la côte, et on rencontre le contre-courant froid venant du Nord entre lui et la côte d'Yesso. Ce courant froid longe la côte d'Asie, entre la Chine et le Japon, et se continue plus au Sud ; mais les Américains ne l'ont pas observé à l'Est de Niphon. C'est dans ses eaux froides que se trouvent les fameuses pêcheries de la Chine, que l'on peut comparer à celles de l'Amérique septentrionale.

Par le travers du Japon, la rivière du Pacifique se sépare en deux branches : l'une, qui remonte au Nord, longe les côtes du Kamschatka, passe à l'Ouest des Aléoutiennes et pénètre dans le détroit de Behring. Les habitants des Aléoutiennes, qui ne possèdent aucune espèce d'arbre, n'ont pour construire leurs canots et pour leurs usages domestiques, d'autres bois que ceux jetés par la mer sur leurs côtes. Parmi ces bois se rencontrent souvent des débris de camphriers et d'autres arbres de la Chine et du Japon. L'autre branche va se réfléchir sur la côte Nord-Ouest de l'Amérique. Elle y prend vers le Sud une direction parallèle à cette côte et dérive lentement vers le courant équatorial à son origine orientale.

Nous retrouvons ainsi la circulation complète observée dans l'Atlantique Nord; mais nous la retrouvons beaucoup moins ac-

tive et plus diffuse parce qu'une plus forte proportion des eaux échappe à l'action périodique des forces motrices et va se disséminer dans des régions d'où elle ne fera retour qu'après y avoir consommé sa force vive : la différence est encore plus marquée pour les mers Australes. Vers le milieu du circuit, un peu plus à l'Est, nous rencontrons la mer de Sargasse servant de réceptacle aux bois de dérive et aux herbes flottantes du Pacifique Nord. Sur les îles Johnston, qui sont situées à sa limite méridionale, viennent atterrir des bois de la Colombie et des cèdres rouges de la Californie.

§ X. — Courants de l'Atlantique et du Pacifique Sud.

Les alizés soufflant symétriquement des deux côtés de la région des calmes, il semblerait au premier abord que le courant équatorial devrait être lui-même symétrique des deux côtés de cette région ; mais la densité considérable de l'eau, si on la compare à celle de l'air, ne lui permet pas de céder rapidement à une impulsion relativement très-faible et dont la répétition persistante fait toute l'efficacité. Il est donc nécessaire de tenir un très-grand compte de la vitesse acquise par les eaux au moment où elles entrent dans la sphère d'action des alizés, et des résistances relatives qu'elles éprouvent à se mouvoir vers l'un et l'autre pôle.

La configuration des côtes de l'Afrique et de l'Amérique est peu favorable au développement des courants que les alizés du S. E. tendent à produire sur l'Atlantique Sud. Au-dessous du cap San-Roque, en effet, la côte américaine est presque perpendiculaire au S. E.; il suffirait donc d'une force déterminante peu active pour faire affluer, soit vers l'équateur, soit vers le pôle,

les eaux qui seraient poussées vers cette côte par les alizés. Or, cette force déterminante se trouve naturellement dans la vitesse du courant des Canaries et des îles du Cap-Vert, et ce courant pousse au Sud.

Dans le golfe de Guinée, au contraire, et jusqu'à une certaine distance des côtes d'Afrique, les alizés sont gênés dans leur action ; leur direction est déviée même vers la côte par l'effet d'aspiration produit par les déserts. Au vent de la surface liquide sur laquelle il agit se trouve la terre ferme ; l'eau manque à l'alimentation du courant qu'il tendrait à produire. Le résultat serait donc une rotation partielle au fond de ce golfe, un courant du S. E. au large et un courant du N. O. vers la côte. Ce dernier est favorisé par une branche du courant des Canaries, dont l'appel vers le golfe de Guinée est déterminée par ces conditions locales.

Les deux courants Nord-Sud ainsi établis aux extrémités orientale et occidentale de l'Atlantique Sud, y rendent impossible une circulation unique. Aussi en trouvons-nous deux et deux mers de Sargasse. La partie moyenne et commune de ce double circuit est formée par des courants faibles et mal déterminés venant des régions Australes; ces courants se relient au mouvement de dérive partant du pôle vers l'équateur et alimenté par des eaux froides à la vérité, mais rendues légères par la fusion des énormes quantités de glace dont sont recouvertes les mers Antarctiques. La seule action que les vents d'Ouest des latitudes moyennes puissent exercer sur ces eaux de dérive toujours nouvelles, est de les empêcher de céder à la tendance vers l'Ouest que leur imprime la rotation de la terre par l'effet de l'accroissement de vitesse des parallèles qu'elles traversent successivement dans leur trajet des régions polaires vers l'équateur.

Dans la partie moyenne du Pacifique Sud, la masse des eaux chaudes est entraînée par un mouvement de dérive vers les latitudes plus élevées; un mouvement inverse amène vers les ré-

gions équatoriales, et par la surface orientale du bassin, les eaux polaires adoucies par la fonte des glaces. Dans le voisinage de la pointe Sud de l'Amérique, ce courant d'eau froide se trouve activé et dévié vers l'Est par les vents d'Ouest qui soufflent avec violence dans les parages du cap Horn. Il se partage alors en deux; l'un, connu sous le nom de courant de Humboldt, longe la côte d'Amérique et remonte jusqu'à l'équateur où il sert à l'alimentation du courant équatorial et rafraîchit dans sa route les côtes du Pérou et du Chili; l'autre contourne le cap Horn dont il prend le nom.

Entre le courant de Humboldt et la grande dérive des eaux chaudes du courant équatorial, est une région où ne se révèle aucun symptôme de vie. Dans l'océan Pacifique Sud surtout, des oiseaux de mer accompagnent souvent les navires au milieu de l'immense étendue des eaux, pendant les tempêtes comme dans les jours de calme. L'albatros et le pigeon du cap, qui se plaisent dans les climats inhospitaliers des régions Antarctiques, suivent les bâtiments jusque dans l'éternel été des tropiques. Ces oiseaux de mer disparaissent tout à coup dès qu'on atteint cette région inanimée, et il en est de même des oiseaux des régions californiennes. Nulle vie n'apparaît non plus au sein des eaux; la baleine franche et le cachalot ne s'y montrent pas.

Une partie du courant équatorial du Pacifique pénètre dans l'océan Indien, où les mêmes causes produisent les mêmes effets. Les eaux échauffées dans leur long parcours à la surface des régions équatoriales acquièrent dans le golfe Arabique la plus haute température de l'Océan. Tout en se transportant ainsi à l'Ouest, les eaux chaudes dérivent irrégulièrement vers le Nord, un peu plus régulièrement vers le Sud, surtout dans la région moyenne de l'océan Indien; puis le mouvement se concentre dans le courant de Mozambique. Ce courant longe la côte Est de l'Afrique, passe dans le canal de Mozambique, d'où il tire

son nom et où il atteint sa vitesse maximum; il arrive au cap de Bonne-Espérance où il prend le nom de courant des Aiguilles et va se perdre dans les mers du Sud. Sa température est de 30° 5 par le travers du cap Guardafui; elle baisse graduellement vers le Sud, remonte un peu après avoir dépassé Madagascar, parce que de nouvelles eaux chaudes se réunissent aux premières; elle reste encore sensiblement plus élevée que la température des eaux voisines bien au-dessous du cap Horn, au moment où le courant s'enfonce au-dessous des eaux moins salées provenant de la fusion des glaces du pôle Austral.

§ XI. — Courants des mers intérieures.

Des courants réguliers peuvent s'établir même au sein des mers intérieures les plus étroites.

Dans la *Méditerranée*, il existe au détroit de Gibraltar un courant de surface parfaitement défini, allant de l'Atlantique à la Méditerranée. On l'attribue à ce que cette dernière perdrait par évaporation plus d'eau qu'elle n'en reçoit par les pluies ou les fleuves, en sorte que son niveau général serait inférieur au niveau moyen de l'Océan. S'il en est ainsi, il faut, ou bien que les êtres vivants de la Méditerranée aient, à un degré plus grand que ceux de l'Océan, la faculté d'extraire des eaux les sels qu'elles renferment; ou bien qu'il existe un courant sous-marin allant de la Méditerranée à l'Océan et restituant à celui-ci les sels introduits par le courant de surface. Autrement, avec l'activité du courant de surface et la longue série de siècles écoulés depuis l'origine de l'état actuel des choses, le lit de la Méditerranée serait tapissé d'une épaisse couche de sel dont on ne voit nulle part de traces.

La première hypothèse est contraire aux faits; la seconde

paraîtra vérifiée par les exemples cités précédemment et par le fait suivant, rapporté par le docteur Hudson dans un mémoire lu à la *Société philosophique de Londres*. En 1712, M. de l'Aigle, capitaine du corsaire *le Phénix*, de Marseille, donna la chasse près de la pointe de Ceuta à un navire hollandais. L'ayant approché au milieu du détroit, entre Tarifa et Tanger, il lui envoya une bordée qui le coula immédiatement. L'équipage fut sauvé par M. de l'Aigle, et peu de jours après, le navire coulé revint sur l'eau près du rivage de Tanger, c'est-à-dire à quatre lieues au moins à l'*Ouest* du point où il avait disparu. Le courant de surface l'eût au contraire transporté à l'Est.

Les eaux surchargées de sel par l'évaporation tombent au fond; elles y forment une couche d'une densité relativement élevée, qui tend à les faire écouler vers l'Océan. Il entre dans la Méditerranée par le courant de surface plus d'eau qu'il n'en sort par le courant sous-marin, mais la richesse plus grande en sel présentée par ce dernier compense la différence. La profondeur du détroit étant d'environ 300 ou 400 mètres, la coexistence des deux courants est facile. Au reste, en 1828, le docteur Wollaston présenta à la même société anglaise les résultats d'une analyse d'eau de mer recueillie dans la Méditerranée, à une profondeur de 1228 mètres et à 20 lieues environ du détroit de Gibraltar. Cette eau se serait trouvée contenir proportionnellement quatre fois plus de sels que l'eau de l'Océan.

En dehors de ces courants superposés, on sait qu'il existe encore dans la Méditerranée d'autres courants. L'un d'eux en particulier longe les côtes de France en allant de Marseille à Cette. Aussi, tandis que l'entrée du port de Marseille conserve sa profondeur, les sables que le Rhône charrie dans la mer vont se déposer sous le courant et ensabler le port de Cette et les petits ports voisins. Sur les côtes de l'Algérie, les courants marins portent, au contraire, à l'Est.

Dans la *mer Rouge*, où l'évaporation est très-active, où il pleut rarement et où ne se rend aucun fleuve, un phénomène de même nature doit se produire. D'après Johnston, le niveau des eaux près de Suez serait de 0^{m},6 plus bas de mai en octobre, qu'il ne l'est dans le voisinage du détroit de Bab-el-Mandeb. Un courant de surface apporte de l'océan Indien les eaux nécessaires pour compenser l'évaporation ; un courant sous-marin doit restituer à l'Océan une quantité de sel correspondante.

§ XII — Glaces flottantes à la surface des mers.

Les glaces flottantes à la surface des mers sont souvent des causes de grands périls pour les navigateurs pour lesquels elles forment de véritables écueils mobiles ; elles sont toujours une source de froid pour les régions qu'elles traversent, et, accidentellement, elles peuvent devenir l'origine de véritables tempêtes lorsqu'elles arrivent en grand nombre jusque dans les eaux du Gulf-stream.

Les glaces flottantes ne dépassent guère le 45° degré de latitude dans l'hémisphère Nord, et elles s'y concentrent dans des régions peu étendues où les amène la dérive superficielle des eaux polaires. Tels sont les parages de Terre-Neuve où se rendent les glaces des côtes du Groënland, des côtes du Nord-Est de l'Amérique et celles du bassin polaire. Dans le Pacifique Nord, les glaces flottantes, moins volumineuses et plus disséminées, sont fournies seulement par les mers d'Okhotsk et du Kamtschatka.

Dans les mers de l'hémisphère Austral, plus froid que le nôtre, on les rencontre sur tous les méridiens. Sur le 35° degré de longitude, elles pénètrent jusqu'au cap de Bonne-Espérance, c'est-à-dire à une latitude moins élevée que celle du détroit de Gibraltar. C'est surtout du mois de novembre au

mois d'avril, pendant l'été de l'hémisphère Sud, que l'on est exposé à en rencontrer et qu'elles deviennent un danger pour les navigateurs. M. Towson en a fait l'objet d'un mémoire imprimé par le *Board of trade*, et d'où nous extrayons les faits suivants.

M. Towson fait remarquer d'abord qu'il existe deux espèces de glaces flottantes différant par leur origine et leurs dimensions. Chaque année, pendant notre été, la mer se congèle sur d'immenses étendues autour du continent Antarctique. Au retour de la saison chaude pour ces parages, de vastes fragments se détachent de la croûte solide et s'en vont en dérive vers des latitudes plus basses. De là ces *champs de glace* aperçus par les navigateurs et qui peuvent atteindre jusqu'à 20 ou 25 lieues carrées en surface. Ceux-ci, par les progrès de la fusion et par l'effet des vagues, se divisent en fragments plus petits constituant les glaces flottantes dont le choc peut encore être désastreux pour un navire.

En dehors de ce fait régulier, annuel, il se forme sur les terres polaires d'immenses glaciers se déplaçant graduellement vers la mer comme les glaciers des Alpes vers la plaine. Lorsque l'extrémité inférieure d'un de ces glaciers plonge suffisamment dans la mer, la pression que l'eau exerce sur elle de bas en haut peut en détacher un bloc, surtout lorsque la température attiédie a rendu la glace moins résistante, que la mer a été rendue libre à l'entour et qu'elle est soulevée par une de ces violentes tempêtes si fréquentes dans les mers Australes. Il se forme alors un de ces *ice-bergs* pareils à des tours ou à de hautes collines et dont quelques-uns peuvent atteindre à une hauteur de 300 mètres au-dessus de la mer, ce qui suppose des dimensions colossales pour la partie immergée. Ces blocs sont heureusement fort rares; mais par leur volume et le temps qu'ils mettent à fondre, ils peuvent pénétrer à de très-grandes distances du pôle.

Nous avons marqué par de petits triangles, dans les planches I et VII, les régions de l'hémisphère Sud, le plus ordinairement envahies par les glaces flottantes. La masse la plus considérable dont il soit fait mention, a été vue du mois de décembre 1854 au mois d'avril 1855, flottant entre les parallèles de 44° et 40° et les méridiens de 35° et 22° O. Nous avons indiqué par une croix sa position moyenne dans cet intervalle. 21 navires en font mention. Ses dimensions horizontales atteignaient plusieurs dizaines de lieues. Elle était creusée d'une baie profonde d'une vingtaine de lieues, dont le *Great-Britain*, en décembre 1854, longea pendant 30 lieues le bord intérieur. Pendant les trois premiers mois, la baie resta ouverte vers le N. E., et comme elle se trouvait en dehors de la route parcourue par les navires allant en Australie, elle présentait peu de dangers; mais pendant les trois mois suivants, elle dériva de 50 lieues à l'E. N. E. se rapprochant de la route d'Australie, et tourna de 90° sur elle-même de manière à présenter sa baie au N. O., dans la direction par où les navires pouvaient s'en approcher. Le *Cambridge* et le *Salem* s'y engagèrent et, grâce à d'habiles manœuvres, purent se tirer à temps de cette situation périlleuse. Le *Guiding Star* s'y perdit.

CHAPITRE VI

LES PRESSIONS BAROMÉTRIQUES

§ Ier — Causes générales des variations du baromètre.

Le thermomètre nous fait connaître la température de la masse d'air qui l'entoure, l'hygromètre nous en indique le degré d'humidité ; mais ces deux données sont l'une et l'autre toutes locales, elles ne nous disent rien sur l'état des autres lieux. Cependant, si, au même moment, la température et l'humidité se trouvaient les mêmes sur toute la surface terrestre, aucun mouvement n'en pourrait résulter.

Les indications du baromètre ont une portée beaucoup plus grande. Sa hauteur ne dépend pas seulement de l'état de la couche d'air dans laquelle il est placé ; elle représente la somme des pressions de toutes les couches superposées jusqu'aux limites de l'atmosphère. Elle fait plus encore. La pression totale exercée par l'air à la surface du globe est déterminée ; le poids variable de la vapeur qui s'y ajoute peut seul faire changer le poids de l'atmosphère. Si celle-ci était en repos, la hauteur barométrique n'éprouverait donc, en un lieu, que des oscillations très-lentes et d'une très-faible amplitude. Dès que le baromètre monte au delà d'une certaine limite, on

peut en conclure sûrement qu'il baisse en d'autres lieux et que l'équilibre est troublé. Une baisse barométrique prononcée conduit, par une ligne opposée, à la même conclusion.

On commettrait toutefois une grave erreur si l'on considérait le baromètre comme une simple balance destinée à peser la somme des poids des couches d'air superposées. Il en serait ainsi dans une atmosphère toujours calme et en équilibre. Dans une atmosphère mouvementée comme la nôtre, le baromètre est un *dynamomètre* ou un *manomètre*, selon l'expression du maréchal Vaillant, bien plus encore qu'une balance.

En réalité, le poids de la colonne de mercure soulevée fait équilibre à la force de ressort de l'air où plonge l'instrument. Cette force de ressort fait généralement équilibre elle-même au poids de la colonne d'air située au-dessus ; mais elle peut être aussi ou plus grande ou plus faible que le poids de cet air. Nous en citerons quelques exemples, en apparence tout hypothétiques.

Considérons une grande masse d'air en repos et saturée, sur une hauteur de 1 kilomètre, de vapeur d'eau à la température de 20°. Le poids de la vapeur contenue dans chaque colonne d'air de 1 mètre de base et de 1 kilomètre de hauteur sera de 27 kilogrammes. La force élastique de cette vapeur sera de 18 millim. 2 ; et comme les forces élastiques individuelles des gaz ou vapeurs mélangés s'ajoutent entre elles pour former l'élasticité totale du mélange, si le baromètre est à 760 millim., la force élastique de l'air sec sera égale à 760 millim. diminués de $18^{mm},2$, ou à $741^{mm},8$. Imaginons maintenant que par une cause quelconque la vapeur d'eau soit subitement condensée en totalité. La perte de poids réellement subie par la colonne atmosphérique sera de 27 kilogr. par mètre carré de la surface terrestre ; cependant l'élasticité aura diminué subitement de $18^{mm},2$ et le baromètre aura descendu de la même quantité ; or cette quantité correspond à une pression de

247 kilogr. par mètre carré. La diminution de pression sera donc beaucoup plus grande que la perte de poids. Sans doute après une telle condensation l'air affluera de toutes parts pour combler le vide ainsi formé; mais il faudra un certain temps pour que l'équilibre se rétablisse. Le mouvement n'en sera pas moins produit par une discordance entre le poids réel et la pression de l'air. Des mouvements de cette nature sont incessants dans l'atmosphère; nous en avons seulement exagéré les conditions pour rendre l'exemple plus frappant. Nous aurions pu considérer l'exemple inverse d'une formation subite de vapeur au milieu d'une masse d'air non saturée. Cette fois c'est la pression qui l'aurait emporté sur le poids, et l'air, au lieu d'affluer vers le centre de la raréfaction, se serait au contraire écoulé des points surchargés vers les espaces voisins. De simples effets de dilatation par la chaleur ou de contraction par le froid donneront lieu à des discordances et à des mouvements de même nature.

Prenons un autre exemple : un grand courant d'air se trouve abaissé verticalement vers le sol. La hauteur du baromètre aux points où arrive le courant sera-t-elle due à la simple somme des poids des couches d'air situées au-dessus du baromètre? évidemment non. En outre de son poids, l'air agira par sa vitesse à la surface du sol qui fait obstacle à son mouvement et l'oblige à changer de direction. La hauteur du mercure sera donc augmentée d'autant plus que la vitesse du courant sera plus grande. Pareil effet est produit lorsqu'un courant tend à se propager dans une masse d'air qu'il rencontre sur sa route. En vertu de son inertie, l'air exige un effort pour se mettre en mouvement, et par conséquent un excès de pression complétement étrangère à son poids. Mais c'est surtout dans les tempêtes tournantes que l'influence de la vitesse de l'air sur la hauteur du baromètre est le plus prononcée.

Nous nous séparons ici très-nettement d'une opinion assez

généralement admise en météorologie et d'après laquelle les vents seraient toujours *produits* par des différences de pression barométriques en des points plus ou moins rapprochés. S'il en est ainsi à leur origine, il faut reconnaître aussi que très-souvent les inégalités de pression sont, au contraire, l'*effet* des vents.

Les indications du baromètre s'étendent beaucoup au delà des lieux où elles sont fournies; elles embrassent des éléments très-divers. Leur interprétation est complexe, beaucoup moins cependant quand on les envisage à leur véritable point de vue, que lorsqu'on les fait dépendre du poids seul de l'atmosphère. Comme *signes du temps* elles ont une importance capitale que nous essayerons de mettre en lumière. Pour y parvenir, nous examinerons d'abord d'une manière générale les mouvements réguliers du baromètre, afin de les dégager des perturbations qu'ils subissent et de faire servir les influences normales à l'intelligence des causes perturbatrices. Les phénomènes météorologiques étant plus uniformes sur mer que sur terre, c'est par l'Océan que nous allons commencer.

§ II. — Hauteur moyenne du baromètre à la surface des mers.

On a cru pendant longtemps que la hauteur moyenne du baromètre était la même sur toute la surface des mers. Le nombre des observations n'étant pas suffisant pour résoudre la question, on invoquait des considérations théoriques : les conditions d'équilibre de l'océan aérien ne permettaient pas d'admettre l'inégalité des pressions aux diverses latitudes. On oubliait que cet équilibre prétendu n'existe nulle part. Depuis les travaux de Maury les observations se sont multipliées à la surface des mers et des continents, et la pression moyenne a été déterminée en un grand nombre de lieux.

Les résultats principaux auxquels on est parvenu sont les suivants d'après Kaemtz : ce sont encore des moyennes, mais prises à diverses latitudes.

1° On peut admettre que la pression moyenne à la surface des mers considérées dans leur ensemble est de $761^{mm},55$.

2° A l'équateur elle n'est plus que de 758 millim. ou un peu au-dessus.

3° A partir de 10° de latitude Nord la pression augmente; et entre le 30ᵉ et le 40ᵉ degrés elle atteint son *maximum ;* elle s'y élève à 762 ou 764 millimètres.

4° A partir de cette zone elle diminue, et vers le 50ᵉ degré elle n'est plus que de 760 millim. Dans les contrées plus septentrionales elle descend à 756 millim. environ.

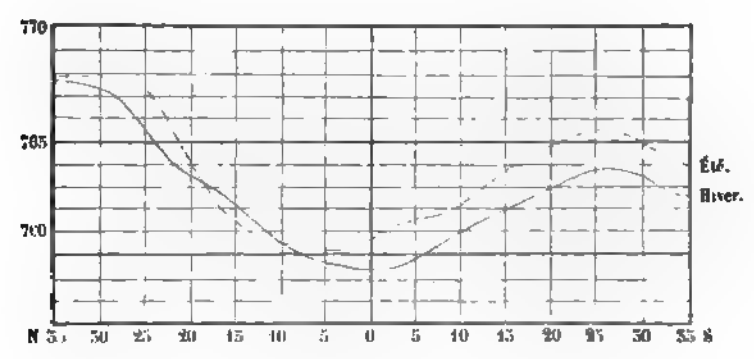


Fig. 29. — Courbes des variations de la pression barométrique entre les tropiques à la surface de l'Atlantique.

Dans la figure 29, nous avons dessiné, d'après les données de l'Institut météorologique d'Utrecht, les courbes des variations moyennes du baromètre à la surface de l'Atlantique, entre les 35ᵉ degrés de latitude Nord et Sud, dans les deux saisons extrêmes, l'été et l'hiver. La ligne verticale marquée 0 correspond à l'équateur; celles de droite et de gauche correspondent aux degrés de latitude croissant de 5 en 5. Les variations de la pression à la surface de l'Atlantique sont beaucoup plus accentuées encore que ne l'indiquent les résultats généraux de

M. Kaemtz. Le minimum de pression tombe en hiver sur l'équateur; en été, il remonte vers 5 degrés Nord. Ce déplacement est conforme au mouvement des températures maximum et au changement de position de la nappe équatoriale ascendante. La hauteur moyenne du baromètre croît rapidement, surtout en été, à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur vers le Nord; entre les 25e et 35e degrés de latitude, elle y atteint près de 767mm,5 ou 768 millim. L'activité de la circulation intertropicale est, en effet, très-développée dans cette partie des Océans. Dans l'hémisphère Sud, la pression maximum moyenne varie de 763mm,8 en hiver, à 765mm,4 en été. Nous ferons remarquer seulement ici que les saisons dans l'hémisphère Sud se trouvant renversées, c'est en réalité pendant l'hiver (correspondant à notre été) que le maximum barométrique moyen y est le plus élevé.

Les moyennes ont pour objet et pour effet d'écarter autant que possible toutes les causes perturbatrices pour ne laisser apparaître que les influences générales et permanentes. Les variations barométriques représentées dans la figure 29 vont, en effet, se montrer d'accord avec la circulation atmosphérique telle que nous l'avons exposée chapitre IV.

L'espèce de vide existant vers la ligne équatoriale, entre deux régions où la pression de l'air est très-grande, explique l'existence du double courant des alizés convergeant vers l'équateur. Ce vide serait promptement comblé par l'apport des vents s'il n'existait une cause permanente de son maintien; les alizés, eux-mêmes, par le fait seul de leur convergence qui tend à les refouler l'un par l'autre, tendraient à produire un excès de pression aux points où ils se rencontrent. L'effet inverse observé montre que les alizés ne sont pas poussés vers la ligne par une force placée en dehors d'elle, mais qu'ils sont aspirés sur l'équateur même, ou du moins dans la région où nous avons placé la nappe équatoriale ascendante. Là se trouve, en effet,

l'air le plus chaud, le plus chargé de vapeur d'eau, et, par conséquent, le plus léger à volume égal; et ces conditions n'existent pas seulement à la surface du sol, mais encore à une grande hauteur dans l'atmosphère.

L'air, en s'élevant régulièrement de la surface fortement échauffée des mers équatoriales vers les hautes régions, y entraîne avec lui la chaleur qu'il a reçue directement du soleil ou qu'il a prise à l'eau; il entraîne également la vapeur dont il s'est chargé pendant son long parcours à la surface de l'Océan, sous forme d'alizés, avant d'atteindre la nappe équatoriale. A mesure qu'il s'élève, il augmente de volume, parce que la pression qu'il supporte diminue. Cette dilatation tend à le refroidir, en donnant lieu au passage à l'état latent, d'une partie de sa chaleur disponible. Mais comme il est presque saturé, il ne peut subir un faible abaissement de température sans qu'une partie de sa vapeur ne se condense et ne restitue la chaleur qu'elle gardait en réserve. La nappe d'air équatoriale contient donc en elle-même un réservoir de chaleur capable de pourvoir longtemps aux causes de refroidissement qu'elle rencontre, et, de toutes les régions du globe, c'est celle où la température doit décroître avec le plus de lenteur. Rien, d'ailleurs, ne vient déranger les conséquences de cette situation; la vitesse acquise des alizés a seulement pour effet de restreindre la largeur de la zone dans laquelle ces vents superficiels se redressent parallèlement dans un plan vertical.

La nappe ascendante se déplace avec les saisons. Sur l'Atlantique, ainsi que nous l'avons vu chapitre IV, elle se transporte pendant l'été de l'équateur vers le 10e ou le 12e degré de latitude Nord, et, pendant l'hiver, elle redescend vers l'équateur. Le minimum barométrique la suit dans ses oscillations, en sorte qu'entre l'équateur et le 10e parallèle, il existe des régions où il passe deux fois par an. La figure 29 se rapporte à l'état moyen de deux saisons extrêmes, mais non aux deux positions extrêmes

ı minimum barométrique, celui-ci, comme la région des ılmes, se trouvant toujours en retard sur la marche du ıleil.

Vers les 25° ou 30° degrés de latitudes Nord et Sud, aux mites des alizés, nous trouvons des conditions tout opposées celles de la région équatoriale. L'air, au lieu de s'élever de la ırface échauffée des mers vers les hautes régions, suit une ıarche inverse.

Les deux nappes horizontales provenant de la division de la appe ascendante parvenue à une certaine hauteur, se refroi-issent graduellement et s'infléchissent peu à peu vers la mer mesure qu'elles s'éloignent de l'équateur, jusqu'au moment ù elles plongent pour venir à la surface alimenter les alizes. Ine température plus basse, un degré d'humidité moins élevé, ıne vitesse presque verticale venant se heurter à la surface du lobe, telles sont les causes naturelles du maximum de pression arométrique observé à ces latitudes. L'air n'y pèse pas seule-nent par son poids insuffisant pour expliquer des pressions de 768 millim. en moyenne, mais encore par sa vitesse, et un rand nombre des fortes pressions observées à la surface de la rance ont une origine semblable.

La largeur du circuit aérien Nord au-dessus de l'Atlantique st moindre que celle du circuit Sud. L'un et l'autre atteignent n moyenne, aux mêmes latitudes, de 25 ou 30 degrés; mais eur ligne de séparation est toujours comprise dans l'hémisphère Nord. La nappe descendante vers le tropique Nord étant ainsi plus rapprochée des lieux où se développent les causes premières lu mouvement doit conserver une vitesse plus grande. En se portant vers le sol avec plus de rapidité, elle y produit une pression plus forte que celle observée dans l'hémisphère Sud, et la différence, d'après la figure 29, peut atteindre à près de 4 millim. de mercure. Pendant notre été, la circulation se ralentit dans notre hémisphère; mais la largeur du circuit y

est moindre qu'en hiver. Ces deux effets se compensent, et la pression maximum totale y reste sensiblement la même. Il n'en est plus ainsi dans l'Atlantique Sud, où l'ampleur du circuit change très-peu. L'accroissement d'activité de la circulation pendant l'hiver, qui correspond à notre été, se traduit par une augmentation de $1^{mm},1/2$ dans la pression maximum. On voit, en effet, dans la figure 29 la ligne ponctuée s'élever d'une manière très-marquée au-dessus de la ligne pleine vers le 25e degré Sud, tandis qu'elle s'écarte seulement vers la droite de cette ligne entre le 30e et le 25e degrés Nord, sans la dépasser en hauteur.

Les mouvements du baromètre sont d'une grande régularité entre les tropiques; toujours très-faibles, ils se reproduisent à peu près invariablement chaque jour aux mêmes heures[1]. En dehors des tropiques et à mesure que l'on se rapproche des pôles, les phénomènes deviennent d'une irrégularité de plus en plus grande; entre des époques très-rapprochées, la pression subit des écarts considérables. Il faut alors de longues séries d'observations pour dégager le fait constant des perturbations qui le dissimulent.

En ne nous en tenant pas à l'Océan seulement, mais en envisageant chaque hémisphère dans son ensemble, nous retrouvons, aux latitudes élevées où nous arrivons en ce moment, le balancement des pressions observé dans les régions intertropicales et un nouvel exemple de l'influence des vitesses de l'air sur la hauteur du baromètre. L'air descendu des hauteurs de l'atmosphère au niveau de la surface terrestre y était primitivement doué d'un état hygrométrique peu élevé; mais à mesure qu'il s'avance vers le pôle, il prend à la mer de la vapeur, et il tend, d'autre part, à se refroidir. Il se sature

[1] Ces mouvements ont été étudiés avec un grand soin par M. Charles Sainte-Claire Deville, dans son remarquable mémoire ayant pour titre : *Recherches sur la météorologie des Antilles et des contrées voisines.*

donc de plus en plus, et la plus faible cause accidentelle y donne lieu à des condensations de vapeur et à des pluies. Alors même qu'il paraît le plus chargé d'humidité, il en contient en réalité moins que dans les régions tropicales, parce que le froid donne à l'air une moindre aptitude à dissoudre de la vapeur d'eau. Néanmoins, les condensations subites effectuées à de fréquents intervalles à nos latitudes moyennes et aux latitudes plus élevées privent tout à coup l'air d'une forte proportion de sa vapeur d'eau, et sa pression s'en trouve affaiblie. Nous verrons plus tard le rôle de ces condensations dans la formation des tempêtes de l'Europe. Ces tempêtes, à leur tour, sont une cause nouvelle et très-active de la baisse du baromètre en leur centre, par l'effet du tourbillonnement de l'air qui les caractérise.

La masse d'air où une raréfaction s'est ainsi développée n'en continue pas moins sa route ordinaire. Elle promène pendant un temps plus ou moins long, à la surface du globe, la baisse du baromètre qui s'y est produite. De là est née la théorie des ondes atmosphériques généralement acceptée dans la science.

Les ondes atmosphériques ont été l'objet d'un travail considérable et d'une haute importance de la part de M. Quételet[1]. Reprenant les études faites par sir John Herschel pendant son séjour au cap de Bonne-Espérance, le savant directeur de l'observatoire de Bruxelles rechercha des collaborateurs dans les différentes parties de l'Europe et ne négligea rien pour étendre la vaste croisade scientifique qu'il plaçait sous les auspices de l'académie de Belgique. De 1835 jusqu'à la fin de 1841, cette académie avait publié les résultats des observations qui lui venaient de divers pays; à partir de cette dernière époque, elle leur ouvrit le recueil de ses *Mémoires*, et

[1] *Sur le climat de la Belgique*, par M. Quételet, directeur de l'Observatoire royal de Bruxelles, t. II, p. 73 et suivantes.

vers la fin de 1844, le nombre des stations était d'euviron 80. Le dépouillement des observations, les calculs de réduction et de correction; l'assemblage des tableaux et des cartes figuratives, ainsi que la publication de ces matériaux, devint un travail si considérable que M. Quételet, malgré son activité et son dévouement à la science, fut contraint d'y renoncer.

Les observations se faisaient d'heure en heure, pendant 36 heures consécutives, aux quatre époques annuelles des solstices et des équinoxes. Une aussi courte période ne permettait de suivre la marche de l'atmosphère que dans une très-petite étendue de son parcours. Il devenait dès lors d'une extrême difficulté de rattacher les mouvements du baromètre à leur véritable cause. Les travaux de M. Quételet n'en ont pas moins puissamment contribué à répandre les études météorologiques, et, ce qui est peut-être encore plus important pour l'avenir de la science, ils ont fait ressortir aux yeux des météorologistes les avantages considérables qu'ils pouvaient retirer du concours de leurs efforts.

La région du globe où se croisent le plus grand nombre des trajectoires des centres mobiles de dépression barométrique sera celle où la pression moyenne paraîtra la plus faible. Cette région, dans l'Atlantique, est comprise entre Terre-Neuve et l'Islande. Plus à l'Est, la pression moyenne monte graduellement jusque sur la Sibérie où nous trouvons une région à pression maximum. Or, nous remarquerons que le mouvement général de l'atmosphère est dirigé, des parages de Terre-Neuve et de l'Islande, vers les régions sibériennes d'où il retourne vers les régions équatoriales. La progression de l'air a donc lieu dans le sens des pressions croissantes; elle ne peut être l'effet de ces pressions: elle a son origine ailleurs. La distribution des pressions est au contraire le résultat du mouvement de l'atmosphère et de la disposition des lieux.

Sur l'Atlantique Nord, le grand courant aérien d'entre

S. et O. n'est que la continuation du contre-alizé supérieur allant de l'équateur vers les régions tropicales. Il est soutenu et favorisé dans sa marche par la température élevée du Gulf-stream et par les abondantes et brusques condensations de vapeur effectuées particulièrement sur sa rive gauche. Mais, en vertu de sa vitesse acquise, il dépasse la région où il est attiré; il s'en écarte, et par l'effet de sa vitesse même, et aussi par la diminution graduelle des parallèles qui tend à l'incliner vers l'Est : cette double circonstance contribue encore à exagérer la dépression barométrique observée sur le Nord-Ouest de l'Atlantique Nord. Le courant aérien s'étend jusqu'au Nord de l'Europe et de l'Asie. Il y arrive avec une humidité de plus en plus faible, une température de plus en plus basse et une vitesse mourante. L'air s'accumule sur ces dernières régions où la pression barométrique atteint un maximum. La sécheresse de l'air dépouillé peu à peu de sa vapeur dans ce long trajet et la pureté du ciel résultant de cette sécheresse viennent encore favoriser la hausse du baromètre. L'air s'écoule ensuite vers le Sud dans des directions moins nettement déterminées.

Dans la réalité des faits de chaque jour, les basses et les hautes pressions éprouvent des déplacements très-étendus à la surface de notre hémisphère, parce que le courant équatorial y subit de grandes oscillations dans son amplitude vers le Nord et vers l'Est (V. ch. XIII) : les moyennes indiquent leur position la plus fréquente ou la plus durable.

Un effet analogue se produit sur la partie opposée de l'hémisphère Nord. Au courant équatorial de l'océan Pacifique correspond une région située entre le Japon et les îles Aléoutiennes où la pression barométrique est minimum, et une autre région située sur le Nord de l'Amérique où la pression est un maximum.

Dans l'hémisphère Austral, on retrouve aux diverses latitudes

des variations barométriques analogues à celles de l'hémisphère Boréal. Après le maximum du 25e degré de latitude, la pression moyenne baisse graduellement vers le Sud, et même beaucoup plus rapidement que sur l'Atlantique. La hauteur moyenne du baromètre est d'environ 752 millim. au cap Horn ; elle se relève un peu sur d'autres points du même parallèle; mais la faible étendue des continents sur cette partie du globe et son peu de fréquentation par les navires, en dehors de la route d'Australie, y rend la circulation aérienne moins nette et ses effets sur le baromètre moins bien connus.

§ III. — Variations du baromètre avec les saisons.

Le baromètre varie peu d'un mois à l'autre de l'année, dans les régions équatoriales des deux Océans où le régime des vents est régulier et bien établi. D'après M. Charles Sainte-Claire Deville[1]. L'oscillation serait comprise, à la Guadeloupe et dans la chaîne septentrionale des petites Antilles, entre 760,6 correspondant au mois d'octobre, et 763,7 correspondant au mois de mars. Il n'en est plus de même sur les continents où des renversements ont souvent lieu dans la direction des courants d'air. Dans l'Inde en particulier, à Bénarès et à Calcutta, l'oscillation de la colonne mercurielle est d'environ 16 millim. de juillet en janvier, ainsi que le montre la figure 50, dans laquelle chaque ligne verticale correspond à un des mois de l'année. A Macao et au Caire, villes dont le climat s'éloigne déjà des conditions spéciales du climat de l'Inde, l'oscillation du baromètre est notablement plus faible, bien qu'elle soit encore très-prononcée. Elle est beaucoup moindre à la Havane. Elle devient très-irrégulière dans nos climats, comme l'indique

[1] *Météorologie des Antilles*, par M. Charles Sainte-Claire Deville, p. 30.

a figure 31 pour Halle, Paris, Berlin, Saint-Pétersbourg.

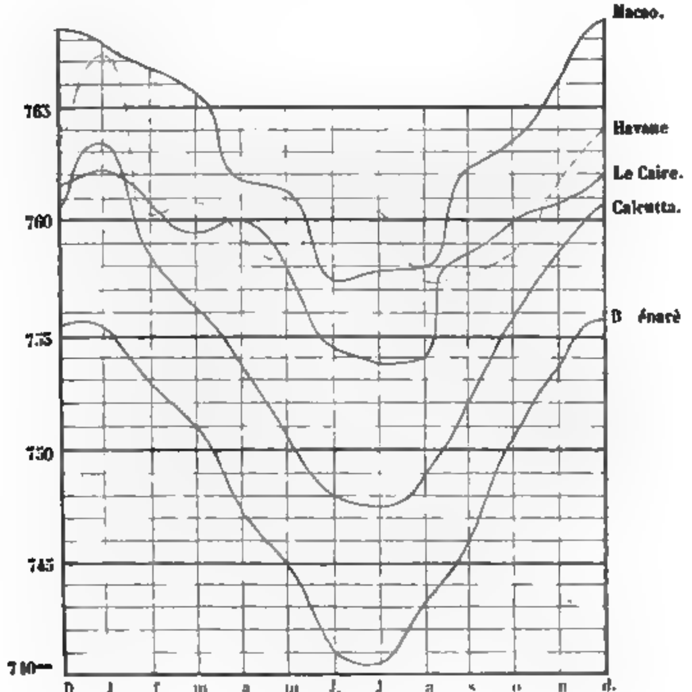


Fig. 30. — Variations mensuelles du baromètre à Bénarès, Calcutta, le Caire, la Havane et Macao.

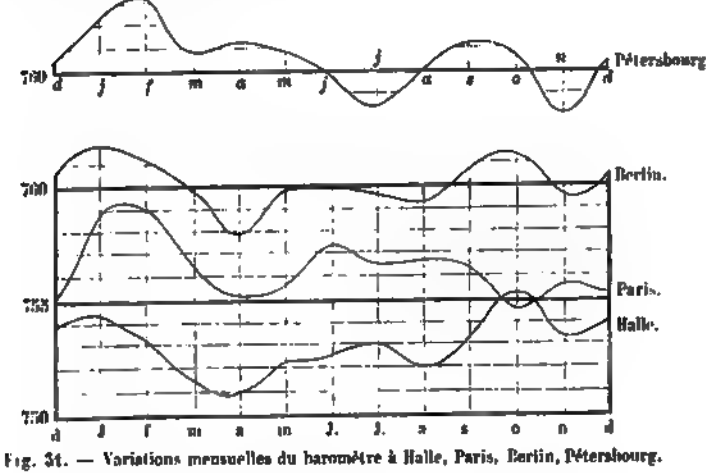


Fig. 31. — Variations mensuelles du baromètre à Halle, Paris, Berlin, Pétersbourg.

Chacune des inflexions présentées par ces courbes a sa raison

d'être et nous révèle une particularité du climat du lieu auquel elles se rapportent. La forte baisse observée en été dans les villes avoisinant les mers de l'Inde est due à l'établissement des *moussons* du S. O. dont nous parlerons bientôt et à l'arrivée des grandes pluies qui les accompagnent. Les maximum et

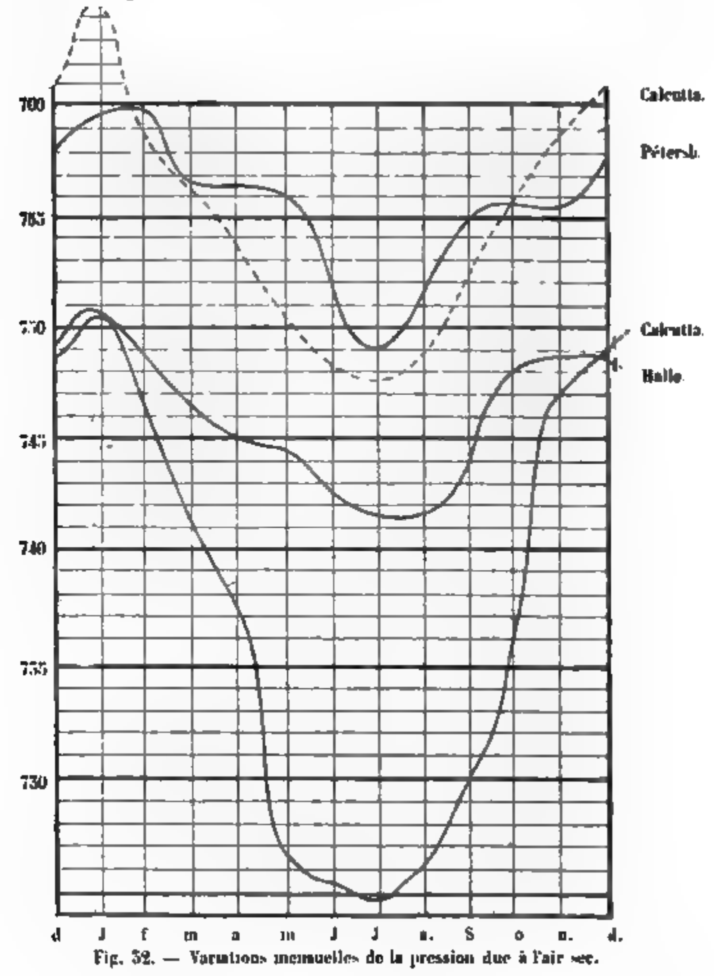


Fig. 32. — Variations mensuelles de la pression due à l'air sec.

minimum présentés par la courbe de Paris sont liés aux déplacements des lignes de parcours des bourrasques à la surface de l'Europe. Ces courbes ont donc une grande importance, et aucune de leurs particularités n'est à négliger.

D'une manière générale et en négligeant les fluctuations secondaires, on reconnaît que la pression atmosphérique totale exercée sur l'hémisphère Nord augmente en hiver et diminue en été : l'inverse a lieu sur l'hémisphère Austral où la même formule est applicable, mais où les saisons sont renversées. Cette variation de la hauteur moyenne du mercure dans les divers mois de l'année est le résultat naturel du balancement des températures sur les deux hémisphères et du transport de la masse gazeuse de l'un à l'autre suivant les saisons. Ce résultat est encore plus marqué si l'on défalque de la pression barométrique totale la part de la vapeur d'eau contenue dans l'air, de manière à ne conserver que celle qui appartient à l'air sec. La figure 32 montre qu'à Pétersbourg et à Halle, comme à Calcutta, la force élastique de l'air est à son minimum en été. Dans cette même figure, nous avons réuni, pour Calcutta, la courbe pointillée des pressions totales à la courbe pleine des pressions dues à l'air seul : l'écartement variable de ces deux courbes donne la valeur de la force élastique de la vapeur d'eau mélangée à l'air. Cette force élastique est de 23 millim. en juillet et de 14 millim. en janvier. La différence est beaucoup moindre à Halle et à Saint-Pétersbourg, elle suffit encore cependant pour expliquer le régime annuel des pluies dans ces divers pays.

§ IV. — Variations diurnes du baromètre.

L'oscillation diurne de la température en chaque lieu produit une oscillation correspondante dans la hauteur de la colonne mercurielle. C'est encore à l'équateur et dans les régions voisines que le phénomène acquiert le plus d'ampleur et de régularité. Mais la brièveté de la période diurne y rend plus évidente aussi l'inertie de la masse gazeuse, et au lieu

d'un seul minimum au milieu du jour, comme en été, et d'un seul maximum pendant la nuit, comme en hiver, nous trouvons chaque jour deux maximums et deux minimums.

L'oscillation barométrique est tellement régulière dans les régions voisines de l'équateur qu'elle pourrait presque servir à marquer les heures ; aussi est-ce dans ces régions qu'elle a été constatée d'abord. Un observateur habitant Surinam en 1722, et dont le nom est resté ignoré, est le premier qui l'ait fait connaître d'une manière positive ; le père Boudier l'a observée dans l'Inde pendant l'année 1740 ; de Humboldt en a fait l'objet d'une étude complète et montré qu'elle se produit également dans nos climats ; elle y est seulement plus faible et masquée par des oscillations irrégulières du milieu desquelles il est assez difficile de la dégager. Elle a été examinée avec les plus grands détails par M. Deville dans son mémoire déjà cité.

D'une manière générale, le baromètre baisse lentement depuis dix heures du matin jusqu'à trois heures ou cinq heures du soir suivant les saisons. Après avoir atteint un *premier minimum*, il remonte jusque vers neuf heures ou onze heures du soir où il atteint un *premier maximum*. Il baisse de nouveau et l'on observe un *second minimum* vers quatre heures du matin et un *second maximum* vers dix heures. Ces oscillations sont rendues évidentes, par les figures 33 et 34. Très-prononcées vers l'équateur elles le deviennent beaucoup moins à nos latitudes. Les heures de maximum et de minimum appelées *heures tropiques* varient avec la saison, avec la latitude, avec la hauteur du lieu au-dessus du niveau de la mer.

L'oscillation diurne du baromètre a pour chaque lieu une origine locale. Sa cause première est dans l'action des rayons solaires à la surface du globe ; mais elle est en rapport avec l'étendue et la rapidité de l'échauffement du sol, avec l'abondance des vapeurs formées chaque jour et condensées pen-

dant la nuit, avec l'état de calme ou d'agitation de l'air..... Si la température varie beaucoup du jour à la nuit et surtout si elle varie avec une grande régularité, l'oscillation barométrique sera très-prononcée; dans le cas contraire elle sera faible. Mais l'influence prépondérante réside dans la facilité plus ou moins grande avec laquelle s'établissent les courants ascendants ou descendants de l'atmosphère. L'air, dans nos climats, est trop fréquemment troublé par des mouvements d'origine étrangère pour que l'oscillation barométrique diurne

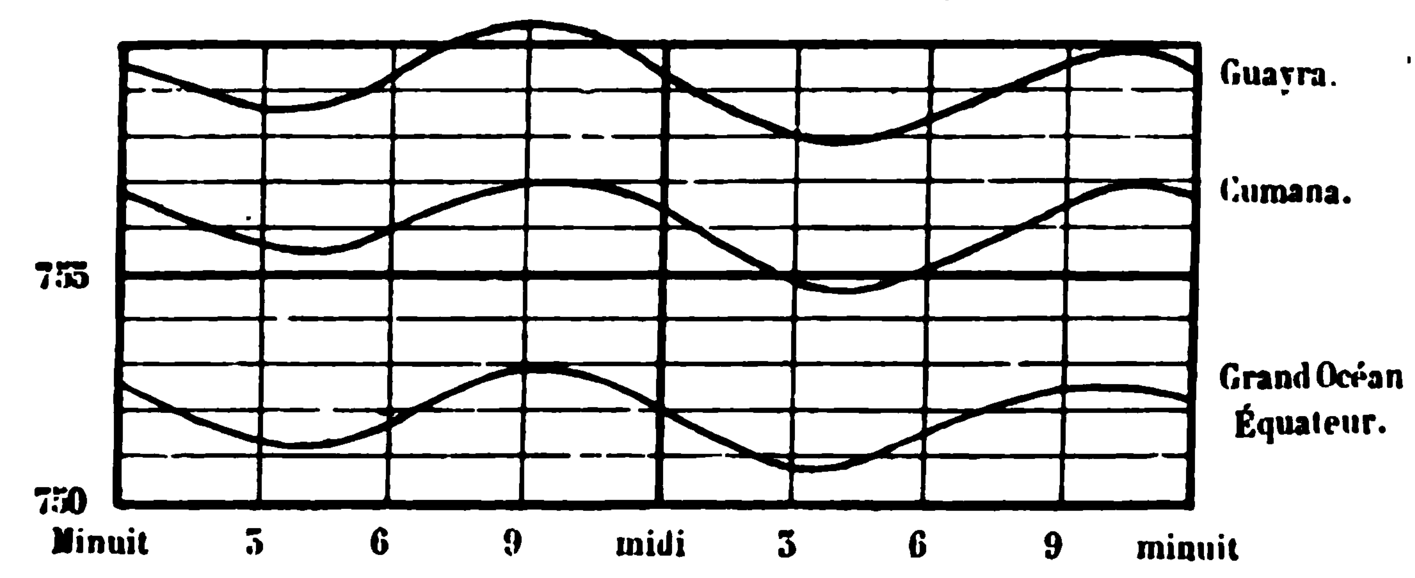


Fig. 33. — Variations horaires du baromètre à Guayra, Cumana et dans les régions équatoriales du grand Océan.

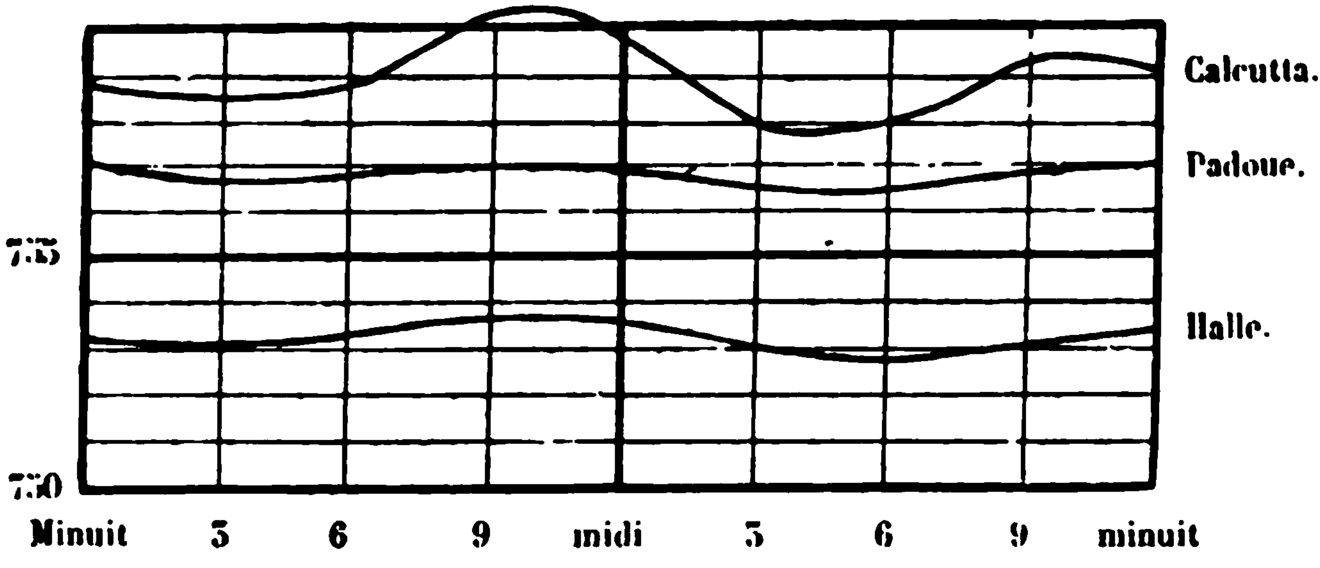


Fig. 34. — Variations horaires du baromètre à Halle, Padoue et Calcutta.

y soit bien accusée; pendant certaines journées de l'été et même de l'hiver, on voit cependant les sinuosités de la courbe barométrique diurne se rapprocher sensiblement de celles que l'on remarque dans des régions plus méridionales. A l'équateur même elle peut varier du simple au double suivant les lieux.

Au lever du soleil, le sol et la couche d'air en contact avec lui commencent à s'échauffer. L'élévation de la température de

l'air produit nécessairement l'un ou l'autre des deux effets suivants ; ou le gaz se dilate et devient moins dense, ou, s'il est empêché de se dilater, sa force élastique augmente. Ajoutons que pendant que l'air s'échauffe il reçoit de la vapeur d'eau fournie par le sol. Ou cette vapeur d'eau se fera sa place dans l'air qu'elle dilatera et dont elle diminuera encore la densité ; ou bien, si l'air est empêché de se dilater, elle ajoutera sa force élastique à celle du gaz, qui croîtra d'une quantité correspondante.

Ces deux hypothèses se traduisent l'une et l'autre, et successivement, dans les faits diurnes.

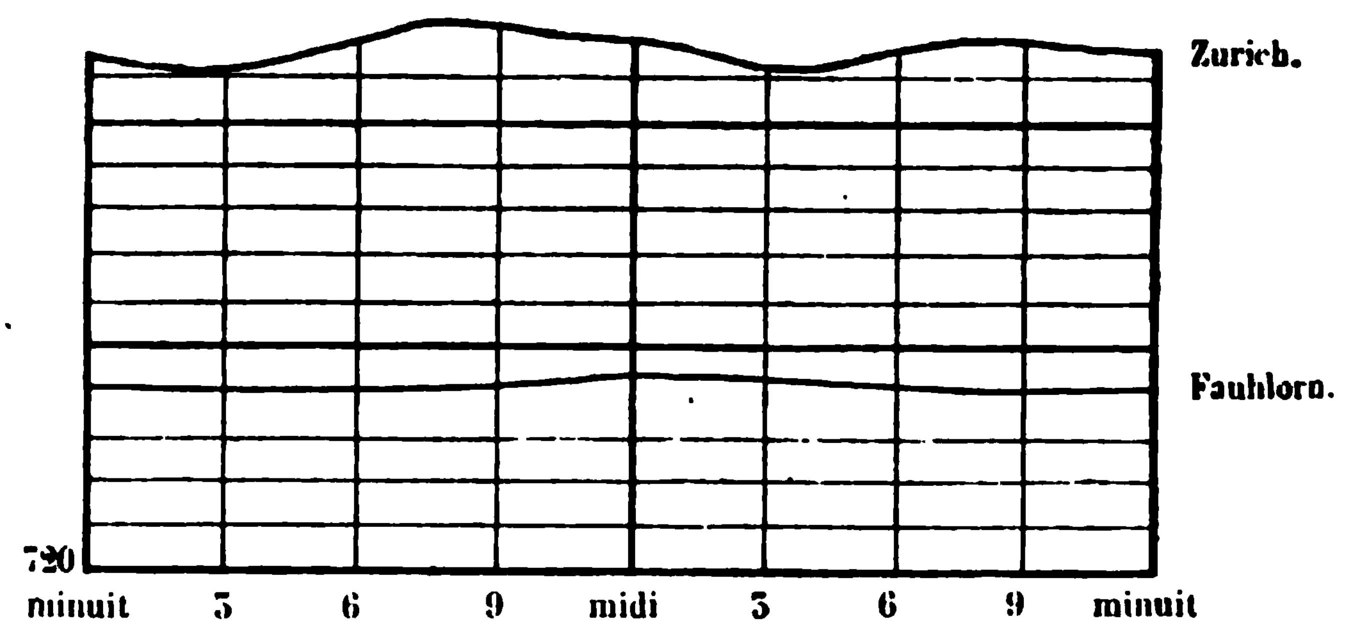


Fig. 35. — Variations horaires du baromètre à diverses hauteurs.

L'air pour se dilater le matin est obligé de refouler les couches d'air supérieures, et celles-ci opposent, en vertu de leur inertie, une certaine résistance au déplacement. La force élastique augmentera donc à la surface du sol jusqu'à ce que les couches supérieures aient cédé à la pression des couches sous-jacentes. On conçoit aisément, dès lors, que le maximum barométrique du matin se propagera successivement de bas en haut dans l'atmosphère ; et on le voit apparaître, en effet, d'autant plus tard et d'autant plus faible qu'on s'élève sur de plus hautes montagnes. La figure 35 nous le montre à neuf heures sur le lac de Zurich et trois heures plus tard sur le Faulhorn.

Une fois l'équilibre des pressions établi sur la verticale d'un lieu, l'affaiblissement de densité dû à la dilatation de l'air et à la plus grande quantité de vapeur qu'il contient, produit son effet ordinaire et d'une manière d'autant plus prononcée que l'air ainsi suréchauffé tend à monter dans l'atmosphère. C'est à l'heure la plus chaude du jour que le minimum barométrique devrait avoir lieu si l'on n'avait à considérer dans les pressions que le poids de l'air; mais il faut tenir compte aussi de la vitesse acquise, et l'air continuant à monter, même après que la force qui le pousse a cessé d'agir, le baromètre descend encore après l'heure de la température maximum. Peu à peu cependant, cette vitesse faiblit et s'épuise, son influence disparaît et le baromètre remonte. Sur le soir la température baisse et l'air tend à se contracter. Si le refroidissement commençait par les couches en contact avec la surface terrestre, son premier effet serait une diminution d'élasticité dans ces couches et par suite une baisse de la colonne mercurielle jusqu'à ce que les couches supérieures se soient ébranlées pour venir combler la différence; mais le refroidissement débute par les couches élevées parce que le sol est lent à perdre sa chaleur; c'est par le haut que le mouvement descendant de l'air tend à s'établir, il agit donc dans le même sens que l'augmentation de densité par le froid et le baromètre continue de monter. Bientôt, le rayonnement terrestre faisant de nouveaux progrès, c'est le sol dont la température s'abaisse le plus, l'air lui-même se dépouille d'une partie de sa vapeur qui se dépose en rosée; un vide et une baisse barométrique ont lieu dans les régions inférieures jusqu'à ce que l'action des rayons solaires ait pu se faire sentir, de là le second minimum.

C'est dans les régions équatoriales que l'oscillation diurne de la température est la plus forte et que les rosées sont le plus abondantes; c'est là aussi que l'oscillation barométrique

diurne est la plus régulière et la plus marquée. Elle se conserve même dans la région des calmes équatoriaux au milieu de la nappe d'air ascendante ; les mouvements de descente et de montée de l'air signalés plus haut sont alors dominés par le mouvement général ; mais leur influence reste accusée par des variations périodiques dans la vitesse ascensionnelle ; et comme cette vitesse produit une baisse barométrique considérable, ses variations sont accompagnées de variations correspondantes dans la hauteur de la colonne mercurielle.

L'oscillation diurne du baromètre est de 2 à 3 millimètres et peut même atteindre à 4 millimètres dans certaines régions de la zone intertropicale; dans nos régions tempérées, elle est à peine de 7 dixièmes de millim.; cependant si, au lieu de prendre la moyenne de tous les jours de l'année, on sépare les jours de calme et de beau temps des jours pluvieux, on trouve que cette oscillation peut dépasser un millimètre.

§ V. — Oscillations irrégulières du baromètre.

Les oscillations régulières du baromètre vont en décroissant de l'équateur vers les pôles ; l'inverse a lieu pour les variations accidentelles : presque nulles dans les régions équatoriales, sauf les cas exceptionnels de grandes perturbations, elles sont au contraire très-considérables dans les hautes latitudes. Une baisse anormale du baromètre sous l'équateur est menaçante quand elle atteint quelques millimètres qui passent ordinairement inaperçus dans nos climats. Dans les grandes tempêtes, le baromètre peut descendre ou monter de 25 ou 30 millimètres en un petit nombre de jours, sous toutes les latitudes. Nous examinerons à part ces convulsions de l'atmosphère et nous montrerons qu'elles-mêmes obéissent à des règles qu'il est possible de fixer. Nous allons, ici, examiner seulement les rapproche-

ments trouvés par les météorologistes entre la hauteur du baromètre et les changements de température ou d'humidité résultant de la direction des vents. Les constructions graphiques rendront les phénomènes plus frappants.

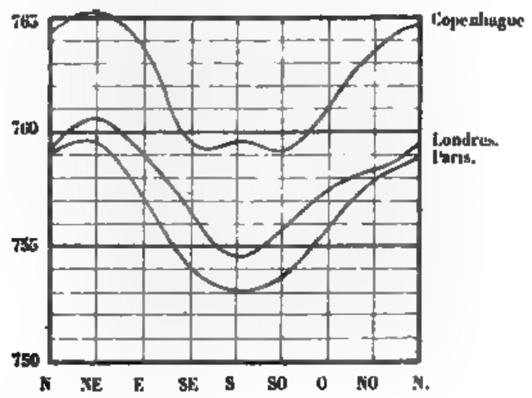


Fig. 36. — Variations du baromètre avec les vents à Paris, Londres, Copenhague.

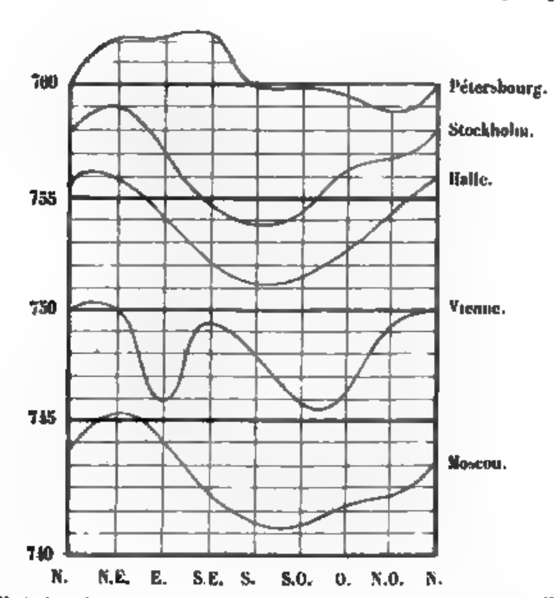


Fig. 37. — Variations du baromètre avec les vents à Vienne, Halle, Pétersbourg, Moscou.

Dans les figures 36 et 37, les huit lignes verticales correspondent aux huit directions principales du vent et sur chacune

d'elles nous avons porté une longueur proportionnelle à la hauteur moyenne du baromètre sous l'influence du vent correspondant. On voit que, d'une manière générale, la pression atmosphérique augmente par les vents des régions Nord et qu'elle baisse au contraire par les vents des régions Sud. L'inverse a lieu dans l'hémisphère Austral comme le montre la figure 38. Cette loi est très-loin toutefois d'être absolue, et elle est sujette à de fréquents écarts. A Pétersbourg le maximum moyen correspond même aux vents soufflant d'entre N. E. et S.E. et à Vienne un second maximum très-prononcé apparaît par les vents du S. E. On peut remarquer d'abord que les vents généralement constatés et enregistrés sont des vents superficiels dont la direction est donnée par les girouettes; or ces vents peuvent être influencés par les saillies du sol. Il ne faudrait cependant pas attacher une importance exagérée à ces influences locales. La hauteur du baromètre est le résultat complexe de causes multiples.

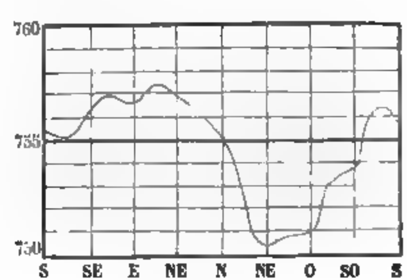


Fig. 38. — Variations du baromètre avec les divers vents dans l'hémisphère Austral

La pression est généralement peu élevée quand l'air est animé d'une vitesse ascensionnelle comme dans la région équatoriale; elle est également faible sur le parcours des deux courants équatoriaux établis à la surface des deux Océans; elle y décroît à mesure que l'air transporté à de plus hautes latitudes s'y refroidit et s'y dépouille de sa vapeur; elle y est particulièrement basse dans la partie où le courant aérien, par l'effet de son inertie et de l'inégale vitesse des parallèles,

s'incline vers l'Est et présente une forte convexité dirigée vers le Nord-Ouest ou le Nord. La pression est forte, au contraire, dans la concavité de cette courbure, ainsi que dans la région où le courant équatorial arrive avec une vitesse mourante et où l'air s'accumule avant de reprendre sa route vers les régions méridionales; elle est forte, enfin, partout où l'air est naturellement animé d'une vitesse descendante comme dans les régions tropicales. En dehors de ces causes générales, les mouvements tournants de l'atmosphère sont accompagnés en leur centre d'une forte baisse du baromètre, baisse à laquelle correspond une hausse équivalente sur une partie de son pourtour. La relation entre la direction du vent et la hauteur du baromètre, en un lieu, est donc liée à la position de ce lieu par rapport à la trajectoire habituellement parcourue par ces mouvements tournants, comme elle est liée à l'état du mouvement général de l'atmosphère en ce lieu. Ce sont là des points sur lesquels nous reviendrons nécessairement en nous occupant des tempêtes et en faisant connaître les cartes synoptiques de l'Observatoire impérial.

Nous n'avons pas parlé jusqu'à présent des influences purement mécaniques dues aux saillies de la surface du globe. Elles ont cependant une certaine importance dans la production des variations du baromètre comme dans celle du vent. Lorsque, par exemple, un courant du N. O. s'établit sur la France, les Pyrénées et les Alpes font obstacle à sa progression. La pression s'accroît au Nord-Ouest de ces deux chaînes; elle diminue au Sud-Est, et la pression devient quelquefois relativement très-faible à Barcelone et surtout dans le golfe de Gênes; mais ce sont là des influences trop spéciales pour que nous nous y arrêtions en ce moment.

Des considérations d'un autre ordre nous font également renvoyer à la fin de cet ouvrage l'étude des relations existant entre la hauteur du baromètre et l'état du ciel. Ces relations

sont trop complexes pour être abordées incidemment, et nous leur consacrerons un chapitre spécial.

Nous terminerons ce chapitre par quelques chiffres destinés à donner une idée des variations du baromètre aux diverses latitudes.

L'amplitude moyenne des oscillations barométriques mensuelles est de $2^{mm},7$ à Batavia, de 10 millim. à Rome, de $17^{mm},2$ à Paris, de $18^{mm},9$ à Bruxelles, de 20 millim. à Saint-Pétersbourg, de $24^{mm},4$ à Nairn dans le Labrador. A latitude égale, elle est moindre dans l'intérieur des continents que dans le voisinage des côtes; elle diminue rapidement à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, et c'est surtout dans les couches inférieures de l'air que les oscillations se manifestent.

CHAPITRE VII

LES VENTS RÉGULIERS

VENTS PERMANENTS — VENTS PÉRIODIQUES

§ Ier. — Les Alizés.

Christophe Colomb voguant sur l'Atlantique à la recherche de la nouvelle route des Indes qu'il supposait exister à l'Occident, fut charmé d'abord de la régularité des brises qui le poussaient vers le but de son entreprise. Peu à peu, cependant, l'inquiétude et l'effroi succédèrent à la joie dans l'esprit de ses compagnons. L'invariable constance des vents était pour eux un phénomène jusqu'alors sans exemple. On se demanda comment pourrait s'effectuer le retour; des séditions s'élevèrent, et la vie de Colomb fut sérieusement menacée par ses hommes, qui désespéraient de jamais revoir leur patrie.

Pendant plusieurs siècles, les alizés furent une énigme pour les météorologistes et les navigateurs. Halley [1] et Hadley [2] proposèrent les premiers l'explication qui s'en est conservée presque sans aucune modification jusqu'à nos jours. Les alizés ne sont plus

[1] *Transactions philosophiques*, 1686.
[2] *Ibid.*, 1735.

qu'un résultat naturel des lois de la distribution de la chaleur à la surface du globe ; ils forment l'un des éléments de la grande circulation atmosphérique, ainsi que nous l'avons exposé chapitre IV. Remarquons, cependant, que si la constance de ces vents est exceptionnelle au milieu de l'incessante variabilité des mouvements atmosphériques dans les latitudes moyennes, cette constance n'est cependant pas absolue.

Nous avons figuré dans la planche IX, et d'après M. Brito-Capello, lieutenant de la marine portugaise, les régions occupées par les alizés sur l'Atlantique, et les directions moyennes de ces vents aux époques de leurs excursions extrêmes à la surface de la mer, c'est-à-dire en février et mars, et en août et septembre. Les lignes sont tirées dans la direction où souffle l'alizé, et le degré de leur teinte est en rapport avec l'intensité moyenne du vent correspondant.

A l'inspection de ces deux cartes, on reconnaît d'une manière évidente l'influence des continents sur la direction des alizés établis dans leur voisinage. En février et mars, l'hémisphère Sud est dans la saison d'été; la température y est à son maximum, ou s'en trouve peu éloignée. La Sénégambie, le Soudan, la Guinée et les régions du Sud de l'Afrique, sont à une température plus élevée que celle des mers environnantes; l'air y est animé d'une force ascensionnelle donnant lieu à une aspiration qui s'irradie sur l'Atlantique. Les alizés du N. E. s'infléchissent vers les côtes du Sénégal, et y prennent graduellement les directions N. N. E., N. N. O., N. O. L'influence est encore plus prononcée sur les alizés du S. E., et leur inflexion s'étend plus au large. En août et septembre, le Nord de l'Afrique arrive à son tour vers la fin de son été; c'est là que la force d'aspiration a son maximum. Les alizés du N. E. sont fortement déviés vers les côtes du Maroc et du Sahara. Les alizés du S. E. sont beaucoup moins influencés par cette cause, mais leur extension dans l'hémisphère Nord suffi-

rait à elle seule pour produire le redressement des vents réguliers du S. E. vers le S. ou S. S. O. lorsqu'ils ont franchi la ligne. C'est qu'ils pénètrent sur des parallèles dont la vitesse vers l'Est est de moins en moins grande, et qu'ils prennent de l'avance sur ces parallèles dans le même sens de l'Est. L'influence du continent américain, quoique moins apparente, n'en est pas moins réelle. Ce continent, placé sous le vent des alizés de l'Atlantique, est très-étroit dans sa partie située entre l'équateur et le tropique Nord; il agit donc faiblement sur l'alizé du N. E. pendant notre été. Il se développe, au contraire, largement au Sud de l'équateur, et, pendant notre hiver, il se produit à la surface du Brésil une forte aspiration qui aide au développement des alizés, et modifie leur direction.

Cette même influence des deux continents opposés rend également compte des inégalités de vitesse des deux courants aériens et de leurs variations annuelles.

Pendant notre été, l'alizé du N. E. est contrarié dans son développement par l'aspiration résultant de la chaleur des déserts d'Afrique; il est, au contraire, faiblement sollicité par le continent américain; aussi le trouve-t-on généralement assez faible et indécis pendant cette saison. Son maximum d'intensité s'écarte peu des côtes d'Afrique, et une grande partie de l'air qui l'alimente est dérivée sur ce continent. L'alizé du S. E., moins gêné dans ses allures, prend un développement plus complet, et contribue pour une large proportion à fournir d'air la nappe équatoriale ascendante à la surface de l'Atlantique.

Pendant notre hiver, l'équilibre tend à se rétablir entre les deux courants. L'Afrique a moins d'action sur l'alizé du N. E., et l'Amérique en prend davantage. L'Afrique agit, au contraire, plus efficacement sur l'alizé du S. E., qui s'y étale en éventail; mais le Brésil vient compenser cette influence désavantageuse; il étale dans un sens opposé l'extrémité occidentale de ce

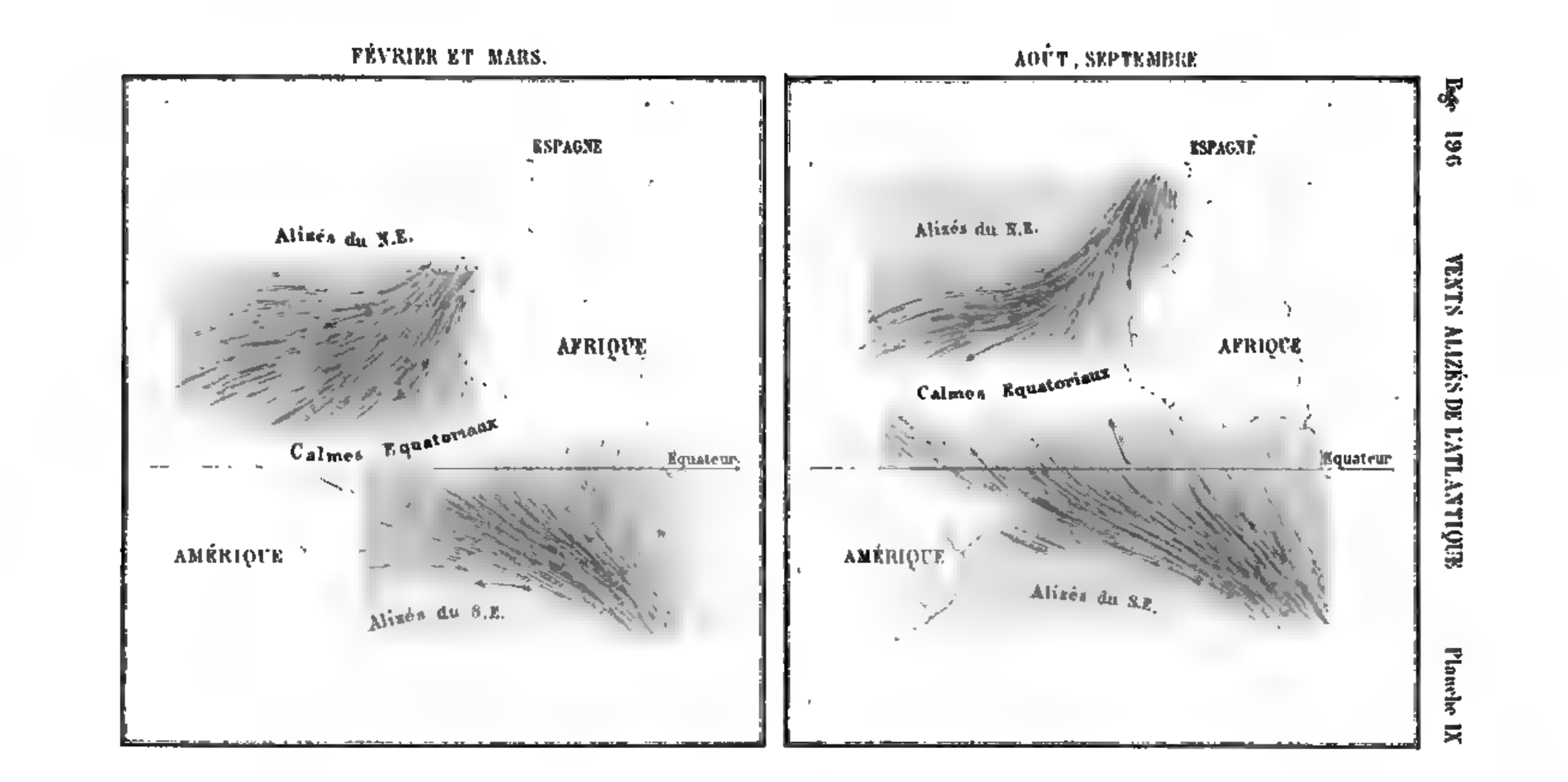
même alizé du S. E., qui devient peu à peu vent d'E. ou d'E. N. E. vers la côte américaine, comme il tourne au S. ou S. S. O. vers la côte africaine.

Des effets du même genre ont lieu sur l'océan Pacifique; ils acquièrent une importance exceptionnelle dans la mer des Indes.

Entre les deux alizés, nous trouvons sur les cartes de la planche IX deux zones faiblement teintées; ce sont les zones des calmes équatoriaux. Ces calmes occupent des positions très-différentes à la fin de l'hiver et de l'été; ils suivent en effet, mais de loin, la marche du soleil entre les tropiques. Jamais ils ne franchissent l'équateur à la surface de l'Atlantique. En février et mars, mois où ils s'en approchent le plus près, l'alizé du N. E. s'arrête vers le 4ᵉ degré de latitude Nord en moyenne; en août et septembre, mois où ils s'en éloignent le plus, l'alizé du N. E. s'arrête vers le 11ᵉ degré Nord. Ces deux limites ne sont pas les mêmes sur toute la largeur de l'Océan; la planche VI, comme la planche IX, montrent que la zone des calmes se relève vers le Nord dans le voisinage des côtes d'Afrique. Sur le Pacifique, elle se relève également d'une manière très-prononcée vers le Nord en traversant l'Isthme qui réunit les deux continents d'Amérique.

Cette particularité a été l'objet d'explications diverses qui, toutes, font jouer aux continents un rôle important dans la production du phénomène. Par la configuration de ses côtes occidentales, l'ancien continent abrite, en effet, contre les vents du N. E. toute la partie orientale de l'Atlantique, tandis que les alizés du S. E. peuvent, au contraire, s'y développer librement. Cette circonstance jointe à la supériorité de la vitesse de l'alizé du S. E. sur celle du N. E. reporte vers le Nord la zone où ces deux courants se fondent dans la nappe ascendante. L'inclinaison des côtes américaines, qui courent à l'équateur du S. E. au N. E., est également la cause de l'inflexion vers le Nord de la

Page 196 VENTS ALIZÉS DE L'ATLANTIQUE Planche IX



région des calmes dans ces parages. On remarquera du reste que la déviation de cette région est très-inégale vers l'Afrique suivant la saison. Pendant les mois d'août et septembre les calmes se trouvent à la hauteur du cap Vert. A partir de ce point les côtes d'Afrique courent vers le Nord et vers le Sud dans des directions à peu près symétriques; aussi la région des calmes est-elle presque droite, tandis que son inflexion est de plus en plus prononcée à mesure qu'elle se rapproche de l'équateur et de la côte de Libéria. Nous n'admettons pas cependant que l'inclinaison des côtes sur la ligne méridienne soit la seule cause des déviations des zones des calmes équatoriaux. La question des températures y tient une large place, et la comparaison des planches IV et V montre que la zone des calmes suit toutes les inflexions de l'équateur thermique. On comprend d'ailleurs qu'il en doive être ainsi, puisque la chaleur des régions intertropicales est la cause première de tout le système de circulation de l'atmosphère. Cette circulation et les mouvements qu'elle occasionne à la surface des mers modifient, il est vrai, la configuration de l'équateur thermique, et ces modifications se retrouvent dans la configuration de la zone des calmes. Là encore, nous rencontrons cet enchaînement et ce mélange de causes et d'effets si fréquents dans les phénomènes de la nature.

Les calmes se déplacent peu à la surface des deux Océans parce que le maximum de chaleur s'y déplace peu lui-même; mais dans l'océan Indien, limité transversalement au Nord par l'Asie, le maximum de chaleur se transporte, de l'hiver à l'été, à des latitudes très-distantes l'une de l'autre : la zone des calmes y parcourt dans le sens du méridien une étendue au moins aussi grande, ce qui produit les Moussons.

La température élevée du Nord de l'Afrique, la présence du grand courant équatorial qui fait converger les eaux superficielles de l'Atlantique vers le golfe du Mexique, l'existence du

grand courant équatorial qui transporte également les eaux superficielles du Pacifique vers l'archipel de la Malaisie et les mers de la Chine, la température élevée du Sud de l'Asie pendant l'été... sont autant de causes concourant, avec l'action directe du soleil et l'inclinaison des côtes, à donner aux zones des calmes équatoriaux les positions qu'elles occupent aux diverses époques de l'année et leur forme un peu tourmentée.

Les limites équatoriales des alizés sont en général assez tranchées ; lorsqu'on s'approche de la zone des calmes la brise mollit et devient irrégulière. Cette zone est étroite sur la moitié occidentale de l'Atlantique pendant l'hiver, alors que les deux alizés sont bien développés ; elle s'élargit au contraire d'une manière très-sensible pendant l'été, alors que les alizés du N. E. sont faibles et indécis dans une grande partie de leur étendue. Aussi lorsque l'on veut franchir la ligne dans cette saison s'écarte-t-on un peu moins dans l'Ouest que pendant l'hiver.

Les limites polaires des alizés sont moins bien marquées que leurs limites équatoriales. A certains jours on trouve les vents du N. E. à des latitudes très-éloignées de leur lieu habituel ; à d'autres ils semblent avoir disparu dans une grande partie des régions qui leur sont assignées. Leur direction est d'ailleurs d'autant plus variable qu'on s'éloigne plus des lieux où ils acquièrent leur maximum d'intensité et que l'on s'approche des calmes équatoriaux et surtout des calmes tropicaux. Si la régularité des phénomènes atmosphériques est relativement très-grande sur les mers intertropicales, ces mers ne sont cependant pas exemptes des perturbations ordinaires dans les latitudes élevées. Les troubles de l'atmosphère y sont seulement beaucoup plus rares et moins profonds, à part certaines régions qui méritent un examen spécial. Les Espagnols appelaient la partie tropicale de l'océan Atlantique *el Golfo de las Damas*, la mer des Dames, parce que la navigation y est si facile qu'une jeune fille peut tenir la barre du gouvernail. Varenius de son côté, en

parlant des alizés du Pacifique disait que les marins partant d'Acapulco (Mexique) pouvaient aller se coucher sans s'occuper du gouvernail parce que le vent les conduisait certainement aux îles Philippines sans changer de route.

Si l'on s'en tient aux moyennes, on trouve que l'alizé du N. E. commence en hiver au Sud des Canaries, et qu'il remonte jusqu'aux Açores pendant l'été. Leur excursion annuelle est donc considérable ; mais elle ne garde cette ampleur que dans le voisinage de l'ancien continent ; au large et dans le voisinage de l'Amérique, les limites Nord de l'alizé du N. E. varient peu avec les saisons, et il en est de même de la limite Sud de l'alizé du S. E. Il en résulte que la surface totale couverte par chacun de ces vents permanents éprouve des extensions et des retraits alternatifs. La région occupée par l'alizé du N. E. se rétrécit pendant notre été et s'élargit pendant notre hiver. L'inverse a lieu pour l'alizé du S. E.

§ II. — Vent alizé supérieur de retour, ou contre-alizé.

La branche supérieure du circuit intertropical est, à son origine équatoriale, à un niveau si élevé qu'on n'a pas pu constater son existence avec certitude en montant sur les pics les plus hauts des Cordillères dans le voisinage de la région des calmes. Mais comme cette branche s'abaisse progressivement vers la surface du globe à mesure qu'elle s'avance vers les tropiques, et que, d'un autre côté, elle parcourt dans sa route des régions de moins en moins chaudes, quelques nuages apparaissent dans l'air qu'elle entraîne : ce sont autant de témoins servant à constater sa direction. On rencontre, en effet, assez communément dans les régions alizées des nuages situés à une grande hauteur et marchant en sens contraire des vents de surface. Ce

mouvement a été mentionné particulièrement par plusieurs navigateurs, parmi lesquels nous citerons Basil Hall et Paludan. Feudler a démontré l'existence de ce courant par des observations faites pendant un grand nombre d'années à Tovar, dans le Vénézuela. Dans les points même où il ne peut être constaté directement il s'est accidentellement présenté des faits montrant que sa hauteur seule et l'absence de tout nuage y masquent sa présence. Les preuves que nous en allons donner rapidement se trouvent réunies et discutées avec une grande autorité par Dove dans son traité de *La loi des tempêtes*, traduit par le capitaine de frégate Le Gras, et inséré dans les *Annales hydrographiques* de 1864[1].

Dans la nuit du 30 avril et le 1er mai 1812, on entendit aux Barbades (Antilles anglaises) des détonations semblables à des coups de canon d'un fort calibre, à ce point que la garnison du fort Sainte-Anne prit les armes. Au jour, le 1er mai, la partie Est de l'horizon était claire, tandis que le reste du ciel était enveloppé d'une épaisse couche de nuages noirs. L'obscurité devint tout à coup si grande que l'on ne pouvait plus distinguer l'emplacement des fenêtres dans les appartements; des cendres tombaient en si grande abondance que les arbres pliaient sous leur poids

Ces cendres provenaient d'une forte éruption du volcan de Morne-Garou situé dans l'île de Saint-Vincent, à une trentaine de lieues dans l'Ouest des Barbades. Or dans les mois d'avril et de mai l'alizé est dans toute sa force, et il est impossible, dans cette saison, d'aller à la voile de Saint-Vincent aux Barbades sans faire un grand détour, à cause de la direction contraire des vents. Il a fallu que les cendres fussent lancées par la violence de l'éruption jusque dans la couche des alizés supérieurs au

[1] Il vient de paraître une nouvelle édition de l'ouvrage allemand, sous le titre : *Das Gesetz der Stürme, in seiner Beziehung mit der allgemeinen Bewegung der Atmosphäre*. Dritte Auflage.

ravers les alizés inférieurs ; là elles auront été entraînées vers e Nord-Est, puis ramenées un peu vers le Sud pendant leur escente au travers de l'alizé inférieur.

Le 20 janvier 1835, tout l'isthme de l'Amérique centrale resentit la secousse du tremblement de terre qui accompagna 'éruption du volcan de Coseguina, sur le lac de Nicaragua. Les étonations furent entendues de la Jamaïque située à 200 lieues ans le Nord-Est de Nicaragua, et même à Bogota qui en est éloinée de plus de 350 lieues. Union, port de mer de la côte Ouest de la baie de Conchagua, fut enveloppé d'une obscurité omplète pendant 43 heures. Des cendres tombèrent à Kingson et dans d'autres parties de la Jamaïque dont les habitants urent savoir ainsi que les détonations qu'ils avaient entendues n'étaient pas des coups de canon.

Pour qu'une aussi grande quantité de cendres puissent être ancées par des mornes bas, comme Morne-Garou et Coseguina, usque dans la région de l'alizé de retour, il faut que les éruptions arrivent à un degré de violence extraordinaire, comme lans les deux cas précédents.

C'est Halley qui, le premier, affirma l'existence de l'alizé supérieur comme conséquence de l'alizé ordinaire[1]. Sans avoir encore de preuves directes du fait avancé par lui, il en trouvait la certitude dans la rotation presque instantanée du vent à des directions opposées, lorsque l'on traverse les limites polaires des alizés. Pour Halley comme pour tous les météorologistes actuels, le courant équatorial du S. O. qui règne aux latitudes moyennes de notre hémisphère n'est, en effet, que la continuation d'une fraction de notre alizé supérieur de retour.

Ultérieurement, Léopold van Buch, dans sa description physique des îles Canaries[2] a pu constater directement l'existence

[1] *An historical account of the trade-winds and Moonsons observables in the seas between and near the tropic, with an attempt to assign the Physical cause of the said wind.* (*Transactions philosophiques*, 1686, p. 152.)

[2] *Physikalische Beschreibung der Canarischen Inseln*, 1825.

de ce contre-alizé dans une partie de son parcours où il est suffisamment abaissé pour que les pics élevés puissent y atteindre. Cet éminent géologue a été témoin à plusieurs reprises de la substitution des vents du S. O. à l'alizé du N. E. dans les parages des Canaries.

Sur le pic de Ténériffe soufflent à peu près constamment des vents d'O. plus ou moins violents; il est rare, du moins, que les récits des voyageurs qui ont monté sur ce pic ne mentionnent pas ces vents. Humboldt en fit l'ascension le 21 juin; quand il eut atteint le bord du cratère il eut beaucoup de peine à se tenir debout tant était grande la violence du vent d'O. Georges Glass observateur consciencieux et marin expérimenté, a écrit, dans son histoire des îles Canaries où il a séjourné plusieurs années, qu'un violent vent d'O. souffle constamment sur les parties les plus élevées de ces îles pendant que les vents du N. E. règnent sur la surface de la mer.

Les vents des régions O. ou S. O. s'abaissent graduellement lorsque survient l'hiver. Des nuages venus de ces directions enveloppent le sommet du pic dès le mois d'octobre; leur niveau descend de plus en plus, et enfin ils s'immobilisent sur la crête des montagnes qui gisent entre Orotava et la côte Sud et qui ont une hauteur de 1,800 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. Ils y donnent lieu à des orages d'une extrême violence[1]. Une huitaine de jours après, les vents du S. O. se font sentir à la surface de la mer. Ils y séjournent pendant plusieurs mois. Les observations récentes faites par M. Piazzi Smith[2] ont encore donné plus de précision aux résultats précédents.

Goodrich ayant trouvé en avril des vents du S. O. au sommet du Mouna-Kaa dans l'île Hawaï, tandis que l'alizé du N. E.

[1] Léopold van Buch, *loc. cit.*

[2] *An Astronomical Experiment on the Peak of the Teneriffe.* (*Transactions philosophiques*, 1859, p. 527.)

oufflait dans les parties basses de l'île, on peut considérer ce ait comme général dans les régions alizées, alors même que le ourant supérieur est trop élevé pour qu'on puisse y atteindre. les ascensions aérostatiques confirmeraient sans doute ces ésultats à toutes les latitudes comprises entre les tropiques.

§ III. — Vents périodiques annuels. Moussons.

Le mot *Mousson* paraît dérivé de *Mausim*, mot arabe qui eut dire saison. Les moussons, que l'on rencontre particulièrenent dans les mers de l'Inde, sont des vents réguliers dont la lirection change périodiquement chaque année, suivant le ours des saisons.

A la surface de l'Atlantique, entre les deux régions extrêmes ccupées par la ligne des calmes, le vent souffle alternativement lu N. E. et du S. ou S. S. O. Dans le voisinage du tropique Nord, dans la région comprise entre les extrêmes limites poaires de l'alizé, et particulièrement aux Canaries, le vent soufle du N. E. en été, du S. O. en hiver. Ces renversements réguliers du vent constituent de véritables moussons. Un phénomène semblable se rencontre sur l'océan Pacifique ; mais c'est dans la mer des Indes qu'il apparaît sur la plus large échelle, et c'est à cette dernière région que le mot de mousson s'applique d'une manière spéciale.

Les Grecs ont eu connaissance des moussons par l'expédition l'Alexandre, et Aristote décrit d'une manière précise l'alternative égulière des vents dans les mers indiennes. Les Arabes la connaissaient parfaitement, car Sidi Ali dans son livre Mohit, sur la navigation de l'océan Indien, publié en 1554, donne l'époque du commencement de la mousson pour cinquante lieux différents.

Halley [1] décrit les moussons d'une manière très-nette; les travaux des météorologistes modernes et en particulier du lieutenant Jansen de la marine hollandaise ont achevé de les faire connaître dans toutes leurs parties.

Au Sud de l'équateur, du 36e au 10e degré de latitude Sud, et de Madagascar à la Nouvelle-Hollande, l'alizé du S. E. règne pendant toute l'année comme à la surface du Pacifique et de l'Atlantique. La zone des calmes descend en effet pendant notre hiver jusque vers 10° de latitude Sud, mais ne dépasse guère cette limite.

De décembre à mai les alizés du S. E. s'arrêtent ainsi à 10° Sud. Pendant ce temps, au Nord de l'équateur, dans la mer de l'Inde et dans le golfe du Bengale, de Sumatra à la côte d'Afrique, règne l'alizé du N. E., comme dans les grands Océans. Mais, de même que dans l'Atlantique, l'alizé du S. E. dépasse la ligne pour s'étendre sur l'hémisphère Nord, et que dans ce mouvement il rallie progressivement le S. et le S. S. O., de même dans l'océan Indien, l'alizé du N. E. dépasse l'équateur pour se prolonger sur les 10 premiers degrés de l'hémisphère Sud. Il traverse alors des parallèles de moins en moins étendus, et animés, par suite, de vitesses décroissantes. Il gagne sur eux de l'avance dans le sens de l'Est et se transforme successivement en vents du N. N. E., du N., du N. N. O. et du N. O. même.

L'inverse a lieu pendant notre été. Le centre d'aspiration s'est transporté sur le continent asiatique; l'alizé du S. E. se prolonge au delà du 10e parallèle S.; il se rapproche graduellement de la direction du méridien en s'avançant vers l'équateur; puis, lorsqu'il a franchi la ligne, la décroissance des parallèles le transforme successivement en vent de S. S. O. et de S. O.

Tel est le phénomène des moussons dans sa plus grande sim-

[1] *Transactions philosophiques*, 1866, p. 158.

plicité. Sa grande extension provient du saut considérable effectué deux fois par an par la ligne d'aspiration ou par la nappe équatoriale ascendante.

De l'équateur à 10° Sud, le vent souffle pendant une moitié de l'année du S. S. E. et pendant l'autre moitié du N. N. O. Au Nord de l'équateur, dans la mer de l'Inde et le golfe de Bengale, le vent souffle du N. E. d'octobre en avril et des directions opposées, d'entre le S. et le S. O. pendant l'autre moitié de l'année. Pendant la mousson du N. E. le ciel est clair ; il est sombre et pluvieux pendant la mousson du S. O.

Des influences locales modifient les directions des moussons et les époques de leur retour. Dans l'Est de Sumatra et de Malacca et sur la côte de Coromandel, les vents sont N. ou S.; l'influence des terres les rapproche de la direction méridienne. Entre les mêmes méridiens, mais au S. de l'équateur, sur l'espace qui s'étend depuis Sumatra et Java dans l'Ouest, jusqu'à la Nouvelle-Guinée dans l'Est, les vents inclinent au contraire vers le S. E. et le N. O.

Les vents contraires ne se succèdent pas brusquement; cependant ils se remplacent mutuellement dans un temps plus court que sur les Océans ouverts dans la direction des deux pôles. La transition est marquée, ici par des calmes, là par des vents variables. Il est à remarquer que c'est à la fin de la mousson du S., ou un peu après sur la côte de Coromandel, et pendant les deux derniers mois de cette mousson dans les mers de Chine, que les tempêtes sont les plus fréquentes. Leur violence dépasse tout ce que nous connaissons dans nos climats d'Europe; elles rendent la navigation de ces mers extrêmement dangereuse pendant l'époque de l'année où elles se produisent.

D'après M. Jansen, le changement de mousson a lieu de la manière suivante dans les mers de Java. Pendant le mois de février, la mousson de N. O. souffle encore forte et fixe ; en mars

elle est interrompue par des calmes et des orages; puis les vents de S. E. font irruption; les nuages s'amassent et couvrent le ciel; les orages sont incessants pendant le jour et la nuit; les trombes sont très-fréquentes. Si le vent retourne à l'O. ou au N. le ciel s'éclaircit de nouveau: mais ce vent ne dure pas et les nuages reparaissent aussitôt. En avril la pluie cesse graduellement pendant le jour et la mousson du S. E. est établie dès le mois de mai.

A l'époque du renversement de cette dernière mousson, les calmes règnent pendant une période d'autant plus courte que le vent prend une direction N. O. plus décidée; les averses de pluie mêlées de grains violents ne durent que très-peu de temps. Les orages avec tonnerre sont fréquents, mais sur la terre seulement ou près de la côte. Vers la fin de novembre la mousson du N. O. est établie d'une manière permanente.

Des phénomènes de même ordre se produisent à la surface des grands Océans, sur les points traversés par la zone des calmes équatoriaux dans son double mouvement de translation annuelle. Cette zone des calmes est également la zone des orages quotidiens; c'est aussi la zone des *tornades*, plus rares et surtout moins violentes que dans l'océan Indien, sauf dans les parages des Indes occidentales et des Antilles.

A la surface des grands Océans, le maximum de température se déplace avec lenteur dans le cours de l'année; mais dans l'océan Indien la position du continent asiatique et surtout la direction des hauts plateaux des monts Himalaya sont une cause de grave perturbation. Le Sud de l'Asie s'échauffe fortement pendant l'été; les rampes méridionales de la chaîne participent de cette température et favorisent la formation d'un courant d'air ascendant à leur surface. L'aspiration qui en résulte fait d'abord contre-poids à la nappe ascendante établie à la surface de l'Océan et finit par l'absorber. Lorsque le continent commence à se refroidir, l'appel d'air tend à reparaître à la surface

le la mer, mais il est d'abord plus vague et moins accusé. Sa ubstitution à l'autre se fait après des hésitations plus proongées; mais, quand elle a lieu, la nappe ascendante parcourt ın large espace en un temps très-court.

L'influence de la hauteur du soleil sur les moussons est renlue visible par la comparaison des époques auxquelles elles s'éablissent en divers lieux. Le soleil arrivant plus tard au zénith les points situés plus au Nord, le S. O. y commence également ılus tard. A Anjongo (latitude 8° 30′ N.) sur la côte du Malaıar, il souffle le 8 avril; à Bombay (latitude 19° N.) il n'apparaît ;uère avant le 15 mai. En Arabie la mousson s'établit un mois ılus tard qu'à la côte d'Afrique, et quinze ou vingt jours plus ard à la côte de Coromandel que dans la partie septentrionale le l'île de Ceylan.

Les sommets des monts Himalaya s'élèvent à une telle haueur qu'ils sont couverts de neiges perpétuelles; mais leurs ;randes masses et les hauts plateaux du Tibet sont, pendant 'été, à une température supérieure à celle de la couche d'air siuée au même niveau à la surface de l'océan Indien. Les alizés lu N. E. qui tendraient à s'établir à la surface de l'Asie sont d'ailleurs paralysés en grande partie dans leur action par ces hautes aillies. On comprend donc que l'alizé du S. E., transformé en S. ou S. O. après avoir franchi la ligne, puisse pénétrer trèsıvant dans les terres. Il y est entraîné par sa vitesse acquise, et par l'appel de l'air glissant de bas en haut sur les pentes méidionales de la chaîne; il n'est pas contre-balancé d'autre part ıar un vent opposé comme à la surface des grands Océans; l dépasse beaucoup ses limites naturelles vers le Nord.

La difficulté avec laquelle la nappe équatoriale ascendante ransportée sur le continent d'Asie s'alimente vers le Nord, est ıccusée aussi par le baromètre. La région à pression baroméique minimum ne se trouve pas dans la zone à température naximum, comme il arrive d'ordinaire à la surface des mers;

elle est reportée au Nord des hauts plateaux du Tibet et s'étend jusqu'à la latitude de Barnaul, dans la Russie d'Asie.

§ IV. — Vents étésiens.

En prenant le mot dans son acception la plus large, on peut trouver des *moussons* dans presque toutes les parties du globe, parce que les variations annuelles de la température modifient annuellement aussi les détails de la circulation générale de l'atmosphère. C'est ainsi que le continent d'Afrique dévie vers lui, tantôt les alizés du N. E., tantôt les alizés du S. E., suivant que le maximum de température est plus ou moins reporté vers le Nord. Les anciens cependant avaient reconnu l'existence de véritables moussons à la surface de la Méditerranée orientale et leur avaient donné le nom de *vents étésiens* (de *Étos* saison).

On ne rencontrera plus ici la forme et la constance des moussons de l'océan Indien. La Méditerranée se trouve déjà dans le cercle d'action des vents variables qui font l'objet du chapitre suivant ; cependant au milieu d'accidents multiples on y distingue encore l'influence du Sahara. Cet immense désert ne contenant que de rares oasis faiblement arrosés, se compose presque uniquement de sable et de cailloux roulés ; sa température moyenne de l'été s'y élève à plus de 30 degrés, tandis que les côtes méditerranéennes et surtout la Méditerranée s'échauffent proportionnellement beaucoup moins. L'air monte au-dessus de ces déserts et produit un appel tout à l'entour d'eux, particulièrement à l'Est, à l'Ouest et au Nord. A l'Est et à l'Ouest l'aspiration a pour effet de dévier vers le continent les moussons et les alizés. Au Nord, son influence est souvent masquée par les perturbations de l'atmosphère à nos latitudes; mais on peut constater fréquemment que ces perturbations,

dans leur marche progressive à travers l'Europe, sont attirées presque invinciblement pendant l'été vers le continent d'Afrique par-dessus la Méditerranée.

En ayant recours aux moyennes pour écarter les causes perturbatrices, on reconnaît l'existence à la surface de la Méditerranée orientale de vents dominants des régions N. ou N. E. qui s'étendent jusqu'en Italie, souvent même jusqu'au détroit de Gibraltar. Dans ces parages et dans cette saison, la traversée d'Europe en Afrique est plus prompte que le retour. La fréquence actuelle de la navigation entre la France et l'Algérie ayant permis de mieux apprécier l'état moyen des vents dans le bassin occidental de la Méditerranée, on a reconnu que, là aussi, la traversée moyenne de la France à l'Algérie est plus courte d'un quart pour les navires à voiles, et d'un dixième pour un navire à vapeur, que la traversée de retour. Tout le versant Nord des îles Majorque et Minorque et surtout de cette dernière, est traversé par un vent dominant du Nord qui produit dans ces îles un rabougrissement très-sensible de la végétation et une inclinaison de tous les arbres vers le Sud. Ce vent s'étend au côtes de la Provence et quelquefois à tout le bassin du Rhône. Nous verrons cependant que certaines circonstances viennent favoriser son action en ajoutant à l'aspiration du Sahara une poussée produite à la surface de la France.

Pendant l'hiver l'action du Sahara s'affaiblit, les sommets de l'Atlas et des chaînes qui en dérivent se refroidissent; le Nord de l'Afrique devient plus froid que la mer, et la Méditerranée rentre sous l'influence générale des courants équatoriaux.

§ V. — Brises périodiques diurnes.

Les variations diurnes comme les variations annuelles du thermomètre sont pour l'atmosphère une cause de mouvements continuels. Le maximum de température suit le soleil dans sa rotation quotidienne autour de la terre ; le minimum de température obéit à une loi semblable. Les dilatations et contractions successives naissant de cette périodicité, déterminent le déplacement alternatif de masses d'air plus ou moins considérables. D'un autre côté, la diversité de propriétés des différentes parties de la surface du globe amènent des inégalités locales dans les températures de lieux voisins et par suite des inégalités de pression et des mouvements aériens.

Sur les côtes, lorsque le temps est calme et beau, on voit, à partir de huit ou neuf heures du matin, une brise de mer s'élever peu à peu, d'autant plus sensible que la température est plus élevée. Faible d'abord et limitée à une bande étroite, elle augmente de force et d'étendue jusque vers trois heures, puis elle s'affaiblit graduellement. Le calme renaît au coucher du soleil ; mais bientôt s'élève une brise de terre allant à la mer et durant jusqu'au lever du jour. En l'absence de tout mouvement général de l'atmosphère, la direction de ces deux brises est perpendiculaire à la direction générale de la côte ; mais si l'air est animé d'un mouvement d'ensemble, les brises de terre et de mer se combinent avec ce mouvement qu'elles dévient d'autant plus qu'il est plus faible et plus oblique à la côte. Imaginons, par exemple et pour grouper ensemble les divers cas, qu'un vent d'O. modéré souffle sur une île. Le vent général et la brise de mer marcheront de même sens sur la côte occidentale et de sens contraire sur la côte orientale. L'inverse aura

lieu pour la brise de terre. Dans le jour, le vent d'O. semblera donc plus fort sur la côte occidentale que sur la côte orientale; pendant la nuit, il semblera plus faible. Sur la côte septentrionale. le vent composé inclinera graduellement vers le N. O. sous l'influence croissante de la brise de mer dont la direction naturelle serait N.; puis il reviendra à l'O. et dépassera cette direction vers le S. O., sous l'action de la brise de terre. Dans les mêmes circonstances, mais sur la côte opposée, le vent d'O. inclinera d'abord vers le S. O. jusqu'à 3 heures, puis il reviendra vers l'O. et remontera vers le N. O.

Des phénomènes du même genre se produiront sur les continents dans le voisinage des montagnes. M. Fournet a étudié avec soin ces brises de jour et de nuit qui acquièrent fréquemment une grande énergie dans certaines vallées des hautes chaînes de montagnes, particulièrement celles qui sont inclinées vers le midi. Nous résumons ci-dessous le travail de M. Fournet[1].

Les grandes saillies du sol déterminent journellement un flux et un reflux atmosphérique accusés par des brises alternativement ascendantes et descendantes connues de temps immémorial, dans certaines localités, sous les noms de *Thalwind*, *Pontias*, *Vésine*, *Solore*, *Vauderou*, *Rebas*, *vent du Mont-Blanc*, *Aloup du vent*.

Ces courants d'air se développent au plus haut degré dans les concavités des vallées, mais sans leur être exclusivement propres; ils se produisent le long de toutes les rampes.

Le passage du flux au reflux, et réciproquement, est rapide dans les gorges étroites et aboutissant après un long trajet à de hautes sommités; il est plus tardif dans les bassins généraux où le flux n'est en général franchement établi qu'à 10 heures du matin et où le reflux ne commence à être régulier que vers 9 heures du soir. L'intervalle entre les brises montantes et

[1] Fournet, *Annales de physique et de chimie*, t. LXXIV, p. 337, 1840.

descendantes est rempli par des oscillations ou redondances alternatives. L'heure de ce phénomène critique varie avec les saisons et avec quelques circonstances météorologiques accidentelles.

Les brises des montagnes sont régulières dans les vallées régulières, mais présentent des accidents vers leurs embranchements. Ces variations peuvent se manifester, suivant le mode d'emboîtement des vallées, soit dans la période diurne, soit dans la période nocturne. La configuration des sommets exerce aussi une grande influence sur les mouvements de l'air suivant les heures et les saisons. Ils sont tantôt plus prononcés le jour que la nuit (vallée de Maurienne), tantôt plus forts la nuit que le jour (*Pontias*, *Aloup de vent* de Chessy); quelquefois c'est l'hiver avec ses neiges qui est le plus favorable aux brises nocturnes, d'autres fois c'est l'été pour les vents du jour. Dans la vallée de Joux, par exemple, les alternatives de froid et de chaud sont si brusques que l'on y éprouve quelquefois des variations de 20 degrés en quelques heures, et que l'on a vu les faucheurs couper de la glace le matin avec leurs faux, tandis que dans le milieu du jour le thermomètre marquait 38 degrés au soleil. Il est impossible que de pareilles différences ne produisent pas des courants extraordinaires.

Ces espèces de marées locales sont en général plus prononcées dans les vallées larges ; elles s'affaiblissent dans les ramifications latérales; mais, quand le bassin s'étale en une véritable plaine capable de subvenir à une très-grande dépense, ou d'absorber une masse d'air considérable, la vitesse de l'air diminue. Ainsi, rarement le Pontias atteint le cours du Rhône; autour de Genève, les brises de la vallée de l'Arve paraissent assez affaiblies pour n'avoir pas excité l'attention des habiles observateurs de cette ville.

Les vents généraux modifient ou compliquent les brises des hautes montagnes, mais ne sont pas toujours assez énergiques

pour les détruire entièrement. Leur action dépend, du reste, de leur direction par rapport à l'orientation des vallées. Pour qu'ils agissent avec efficacité, il faut qu'ils soufflent dans le sens de la vallée montante ; dans ce cas, ils favorisent la brise de jour et ne contrarient que la brise de nuit. Dans une direction opposée, leur influence est amoindrie par les sommités de la chaîne ; dans une direction transversale, les vallées sont encore abritées par les saillies latérales.

Les brises entraînent avec elles les corps flottants dans l'air. C'est ainsi que, suivant les périodes du jour et de la nuit, les fumées, et surtout les vapeurs, vont se concentrer durant le jour autour des hautes cimes (vallées d'Aoste, de la Maurienne, de l'Ossela, d'Ansasca, de la Sésia, val d'Illiers, col du Géant, Valais, Pilat), ou bien sont ramenées durant la nuit vers les concavités (Martigny, Chessy, Saint-Marcel, vallée du Gier). L'air, sur ces hauteurs, se dessèche la nuit et redevient plus humide pendant le jour, tandis que l'effet inverse a lieu dans les vallées.

L'air chaud des plaines, transporté par les brises diurnes, tend à échauffer les sommités des montagnes, tandis que la brise nocturne tend à refroidir leurs concavités en y portant l'air des régions supérieures. De là résultent la fraîcheur subite occasionnée par l'aloup du vent, les congélations de vapeur d'eau par le pontias, les congélations printanières qui, à rayonnement égal, atteignent plus particulièrement les végétaux des vallées.

Au reste, ces phénomènes, observés avec beaucoup de soin par M. Fournet dans les Alpes, se remarquent au même degré dans toutes les grandes chaînes de montagnes, et à un degré moindre dans tous les pays accidentés, même aux hautes latitudes. Les voyageurs ont souvent ressenti un abaissement de température très-prononcé en traversant la nuit certaines gorges situées entre des montagnes même très-peu élevées. Souvent encore, en

descendant une colline, on a pu éprouver un sentiment de fraîcheur très-marqué lorsqu'on s'approchait du fond de la vallée. Cet effet est particulièrement marqué dans les dépressions étroites et peu profondes creusées par les eaux diluviennes au milieu des plateaux jurassiques du centre de la France.

Toutes ces brises de terre, de mer ou de montagnes ont une commune origine. Le sol prend la plus large part des rayons solaires, c'est surtout par lui et à son contact que l'air s'échauffe. Toute la couche d'air qui repose à la surface des rampes frappées par le soleil est à une température plus élevée que l'air situé à une même hauteur au-dessus des plaines. Cet air monte en glissant sur ces rampes comme l'eau placée dans un vase exposé au feu glisse en montant sur les parois échauffées du vase. Par contre, durant la nuit, c'est le sol qui rayonne le plus et se refroidit le plus vite ; cette condition inverse produit dans l'air un mouvement pareillement renversé. Entre la terre et l'eau c'est la terre qui s'échauffe le plus pendant le jour et se refroidit le plus pendant la nuit ; comme d'ailleurs les terres présentent toujours une inclinaison plus ou moins prononcée vers la mer dans le voisinage des côtes, nous trouvons une double influence tendant à produire les deux brises alternatives.

La marche progressive du soleil dans le sens de l'équateur produit des effets d'un autre ordre. Dès que cet astre se lève pour le méridien de Paris, par exemple, la température commence à monter sur tous les points situés sur ce méridien. La première conséquence est un accroissement dans la force élastique de l'air dans ses couches inférieures et une hausse du baromètre. Peu à peu l'air des couches supérieures obéit à cet excès de pression et permet à l'air inférieur de se dilater librement ; mais le mouvement ne se fait pas seulement en hauteur, il se produit également dans le sens des pôles et aussi vers les régions de l'Ouest qui commencent à peine à subir l'influence solaire. L'effet se continue tant que la température

monte; après le maximum il est remplacé par un effet inverse. Dans un air parfaitement calme on verrait donc, dans nos régions se produire au lever du soleil un léger vent d'E. inclinant graduellement vers le S. dans le milieu du jour, et inclinant ensuite vers l'O. sur le soir. Dans l'hémisphère Austral la rotation aura lieu au contraire de l'E. à l'O. par le N. Dans les deux cas, le vent tourne avec le soleil.

Si l'atmosphère est animée d'un mouvement général de translation peu rapide, la rotation diurne du vent y restera sensible; il en sera de même pour les brises de terre et de mer et pour les brises de montagne. Les grands vents n'en seront pas affectés d'une manière appréciable. Ces derniers cependant sont soumis à une rotation régulière dont l'origine est tout autre et beaucoup plus complexe. Nous l'examinons dans les chapitres suivants.

CHAPITRE VIII

LES TEMPÊTES TROPICALES

OURAGANS, TYPHONS, CYCLONES

Les perturbations atmosphériques sont peu fréquentes et peu durables dans les régions intertropicales occupées par les alizés; mais, quand elles s'y produisent, elles y acquièrent une incomparable violence. Nous ne voulons point parler ici des orages qui se renouvellent presque chaque jour, pendant la saison des pluies, dans la zone comprise entre les alizés, et y atteignent des proportions généralement inconnues dans nos climats. En dehors de ces accidents habituels des climats chauds ou tempérés, les tempêtes tropicales offrent des caractères tranchés dont nous allons faire l'examen. Aux Indes Orientales, où elles ont été l'objet de longues et consciencieuses études de la part de Piddington, elles portent le nom de *typhon*. Piddington les désigne par le mot *cyclone* (du grec *cuclos*, cercle), pour exprimer ainsi la loi la plus remarquable de leur dévoloppement. Dans les Antilles, on les appelle *ouragans;* ce sont également des cyclones. Les journaux ont plusieurs fois mentionné les épouvantables désastres occasionnés par ces météores dans les An-

tilles, à la Réunion, à l'île Maurice, ou sur les côtes de la Chine. Capper[1], Redfield[2], Reid[3], Piddington[4], Bridet[5], Keller[6], Andrau[7], etc., ont successivement étudié ces tempêtes et en ont fait l'objet de plusieurs écrits qui nous guideront dans nos descriptions. Deux officiers de la marine impériale de France, MM. Zurcher et Magollé, consacrant en commun les loisirs de leur retraite à la vulgarisation des principaux phénomènes de l'atmosphère ont également donné d'intéressants détails sur les cyclones[8].

§ Ier. — Nature et marche des cyclones.

Le cyclone est constitué par une masse d'air considérable animée d'un mouvement de rotation rapide autour d'un axe à peu près vertical. La rotation a constamment lieu, dans l'hémisphère Nord, de l'Ouest à l'Est en passant par le Sud, c'est-à-dire en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre. Dans l'hémisphère Sud au contraire, elle s'effectue de l'Ouest à l'Est en passant par le Nord, ou dans le sens du mouvement

[1] *On Prevailing Storms of Atlantic Coast of North America.* (*Observations on Winds and Monsoons.* London, 1801.)

[2] *Summary Statements of some of the Leading Facts in Meteorology.* Boston, 1834.

[3] *A Statement of the Progress made towards developping the Law of Storms.* London, 1838.

[4] *Guide du marin sur la loi des tempêtes*, par Henri Piddington, président de la cour de marine à Calcutta, traduit par F. J. T. Chardonneau, lieutenant de de vaisseau ; 2e édition.

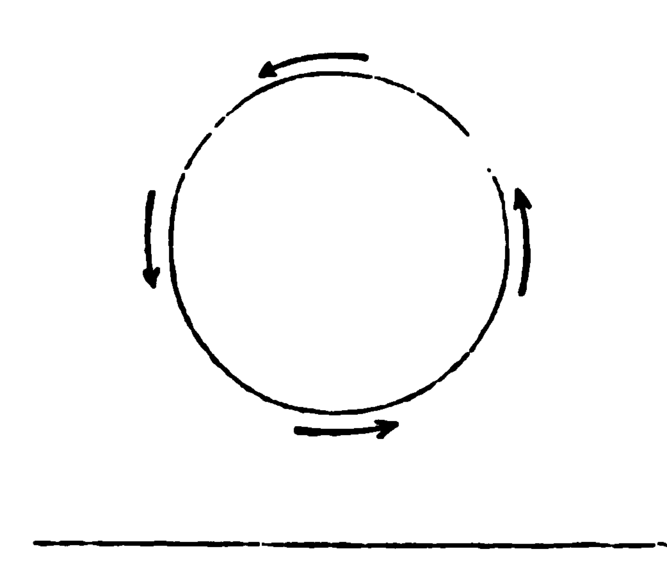
[5] *Étude sur les ouragans de l'hémisphère austral*, par H. Bridet, lieutenant de vaisseau, capitaine de port à l'île de la Réunion. — Saint-Denis, 1861.

[6] *Des ouragans, tornados, typhons et tempêtes*, par l'ingénieur hydrographe Keller, *Annales maritimes*, 1847.

[7] *De Wet der stormen....*, par Andrau. — Utrecht, 1862.

[8] *Les Tempêtes*, par Zurcher et Margollé.

des aiguilles d'une montre (fig. 39). Pendant que l'air tourbillonne ainsi sur lui-même, l'ensemble du phénomène est entraîné d'un mouvement plus ou moins rapide à la surface du globe, et décrit une vaste courbe dont la convexité est dirigée vers l'Ouest.



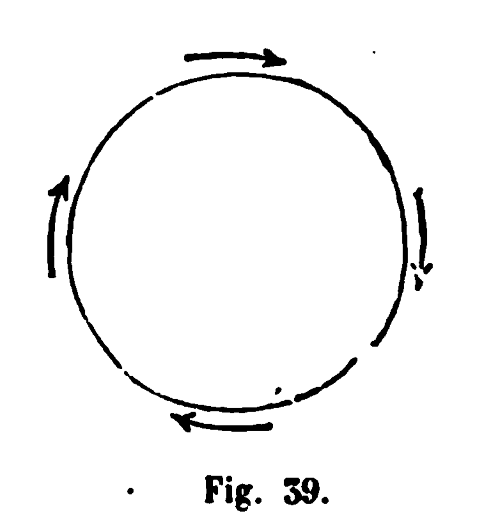


Fig. 39.

Les cyclones prennent naissance entre l'équateur et les tropiques, à une latitude sensiblement égale à celle du soleil, pendant le trouble apporté dans les alizés par le transport de la nappe équatoriale ascendante ou lors du changement de mousson. Une fois formé, il va presque toujours en s'éloignant de l'équateur. Dans notre hémisphère, il marche d'abord vers l'Ouest en se relevant un peu vers le Nord, jusqu'à ce qu'il ait atteint la latitude de 30° environ ou la limite septentrionale des alizés du N. E. Arrivée en ce point, sa trajectoire est dirigée du Sud au Nord; elle s'infléchit ensuite vers l'Est en continuant à remonter vers le pôle. Nous avons reproduit, dans la planche X, la marche d'un cyclone à la surface de l'Atlantique Nord déterminée par le lieutenant Porter de la marine des États-Unis, d'après les journaux de bord conservés à l'observatoire de Washington. La route suivie par cet ouragan en août 1848 est à peu près la même pour tous ces météores à la surface de l'Atlantique Nord. On voit qu'ils y franchissent les limites des régions tropicales et pénètrent jusque sur l'Europe. Nous reviendrons sur ce point dans le chap. IX consacré aux tempêtes de nos climats.

Dans l'hémisphère Austral la marche des ouragans est la même

que dans l'hémisphère Boréal, sauf qu'au lieu de remonter vers le Nord ils se dirigent vers le Sud. Cette disposition des trajectoires des cyclones n'est toutefois constante que dans l'Atlantique et l'Océan Indien. Les typhons de la mer de Chine affectent des allures un peu différentes, et, dans certains cas, ils se rapprochent de l'équateur au lieu de s'en éloigner : leurs directions observées jusqu'ici sont comprises entre le S. S. O. et le N. N. O.

Le diamètre des cyclones, leur vitesse de rotation et leur vitesse de translation diffèrent beaucoup de l'un à l'autre.

Le diamètre initial peut varier de 250 à 400 kilomètres ; il augmente progressivement à mesure que la tourmente s'éloigne de l'équateur et pénètre à des latitudes plus élevées, il peut atteindre vers la fin de sa course à 1500 ou 2000 kilomètres.

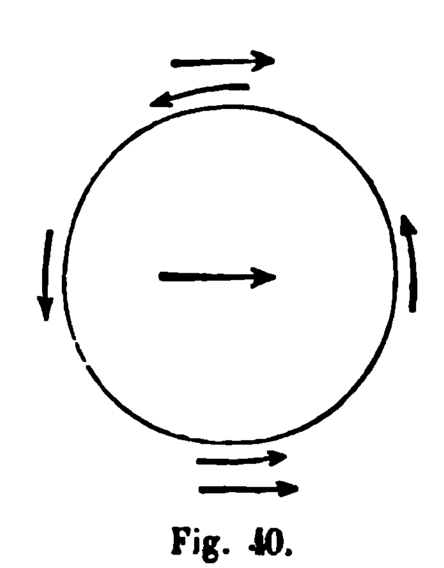
La vitesse de rotation est à son maximum à une certaine distance du centre. Au centre même règne un calme plus ou moins complet interrompu quelquefois par de violentes rafales et de brusques renversements dans la direction du vent. Sur les bords extérieurs du disque tournant, là où il confine à la masse atmosphérique restée calme, la force du vent diminue graduellement. A une distance moyenne du centre, plus près cependant de celui-ci que du bord extérieur, la vitesse de l'air peut atteindre à 200 ou 250 kilomètres à l'heure. Le vent furieux qui en résulte se modère graduellement à mesure que la tempête progresse et s'étale sur une plus large surface.

La vitesse de translation du tourbillon varie aussi en raison de l'intensité de la tempête et contribue à l'accroître. D'après M. Keller, dans les plus faibles ouragans elle n'a jamais été inférieure à 15 kilomètres à l'heure ; dans les plus violents elle n'a jamais excédé 45 kilomètres. C'est à peu près dans ces limites qu'est généralement comprise la vitesse de translation des tempêtes d'Europe. D'après M. Bridet, cette vitesse serait beaucoup moindre dans l'Océan Indien ; elle atteindrait à peine de

4 à 8 kilomètres dans le voisinage de l'équateur pour s'élever progressivement jusqu'à 20 ou 25 dans les latitudes plus élevées. Du reste, la progression d'un cyclone n'est pas un résultat du mouvement de rotation qui le constitue, mais du mouvement général de la portion de l'atmosphère qui entre dans sa sphère d'action. De là l'espèce d'anomalie présentée par certains typhons de la mer de Chine.

Les observations, quand elles sont en nombre suffisant, permettent de constater, dans les régions tropicales, le circuit complet des vents autour du centre du cyclone; il est d'ailleurs arrivé plusieurs fois qu'un navire, fuyant vent arrière devant la tempête, s'est retrouvé presque à son point de départ après un parcours de plusieurs centaines de lieues. Quand la tempête sort des régions tropicales, il devient plus difficile de retrouver les traces d'une révolution complète et continue; lorsqu'elle atteint surtout les latitudes de 40° ou 45° ou au-dessus, on ne retrouve plus que la portion du tourbillon tournée vers l'équateur. M. Andrau qui a constaté ce fait sur les cyclones de l'Atlantique Nord, en donne une explication assez ingénieuse. Partant d'un principe de mécanique très-remarquable, le principe de la conservation du parallélisme des axes de rotation, M. Andrau suppose que l'axe d'un tourbillon doit rester parallèle à lui-même dans les positions qu'il prend successivement à la surface du globe. L'axe du tourbillon serait vertical à son origine près de l'équateur; à mesure qu'il s'avancerait vers le pôle, la surface terrestre s'inclinerait graduellement sous lui, et par suite il paraîtrait pencher de plus en plus du côté de l'équateur. Le disque tournant tendrait donc à s'éloigner de la surface terrestre dans sa moitié Nord, tandis qu'il s'en approcherait dans sa moitié méridionale : c'est dans cette dernière partie seulement qu'on observerait la tempête. Cette explication est très-satisfaisante au premier abord; elle soulève cependant de graves objections. La conservation du parallélisme des axes de rotation

est applicable à un corps solide, tel qu'un boulet lancé par un canon rayé, mais non à une masse fluide dont les diverses parties n'ont entre elles aucun lien. La masse d'air qui tourbillonne ne se déplace pas avec la même vitesse à toutes les hauteurs ; les parties superficielles au sol ou à la mer sont ralenties par les frottements qu'elles y éprouvent, en sorte que l'axe de rotation doit toujours être incliné plus ou moins dans le sens de la progression, l'extrémité supérieure précédant l'extrémité opposée. C'est en effet ce que l'on remarque dans les trombes rendues visibles à distance par les vapeurs qu'elles entraînent, et dont l'axe éprouve des inflexions très-variables. Au lieu de cette explication acceptable dans certains cas particuliers, mais très-contestable dans les circonstances ordinaires, il en est une beaucoup plus simple tirée de la superposition des deux mouvements de rotation et de translation. Si nous menons par le centre du disque tournant (fig. 40) un diamètre parallèle à la ligne de parcours du cyclone, sur l'une des moitiés du disque les deux vitesses seront plus ou moins concordantes et se renforceront ; sur la moitié opposée elles seront discordantes et sembleront s'affaiblir.


Fig. 40.

Imaginons qu'un bateau à vapeur se meuve avec une vitesse de 4 lieues à l'heure par rapport à l'eau sur laquelle agit sa machine, si cette eau est celle d'un fleuve coulant avec une rapidité de 3 lieues dans le sens dans lequel agit la vapeur, le bateau marchera avec une vitesse réelle de 7 lieues par rapport au rivage immobile ; si, au contraire, le bateau remonte le fleuve, sa vitesse ne sera plus que de 1 lieue, bien que dans l'un et l'autre cas la machine parcoure en réalité 4 lieues sur l'eau. L'excès de la vitesse à la descente sur la vitesse à la montée sera égale au double de la vitesse de l'eau et croîtra avec cette dernière.

Dans le voisinage de l'équateur, la vitesse de translation des cyclones est faible, particulièrement dans l'Océan Indien ; la différence des vitesses du vent observé dans les deux moitiés du disque tournant ne sera pas très-grande. La vitesse de rotation y est, au contraire, extrêmement rapide ; le vent le plus affaibli y conservera donc encore une intensité très-notable et suffisante pour frapper l'attention. Mais à mesure que la tempête progresse vers le Nord sur l'Atlantique, sa vitesse de translation s'accroît ; l'inégalité dans la force des vents sur les deux moitiés du disque tournant augmente dans le même rapport ; et comme la vitesse de rotation diminue de son côté, il arrive un moment où les deux vitesses devenues égales produisent un vent nul là où elles sont de sens contraire. Il pourrait même arriver que le vent marchât dans le même sens général que le tourbillon lui-même, dans les points du circuit où il devrait avoir une direction opposée, de même que notre bateau semblerait marcher dans le sens du cours d'eau s'il remontait moins vite que l'eau ne descend.

L'inégalité de force des vents distribués autour du centre d'un cyclone est bien connue des marins ; une moitié du disque tournant est appelée par eux *demi-cercle dangereux*, l'autre *demi-cercle maniable*. Ces deux dénominations ne sont pas dues toutefois à la seule force des vents, mais aussi à la difficulté des manœuvres pour éviter la tempête. D'après l'explication de M. Andrau, le demi-cercle dangereux devrait être le demi-cercle méridional dans toutes les positions du tourbillon à la surface de l'hémisphère Boréal ; c'est, au contraire, le demi-cercle Nord-Est, dans la première phase de parcours de la tourmente ; quand sa trajectoire se relève vers le Nord, le demi-cercle dangereux passe à l'Est ; il tourne au Sud-Est et au Sud quand la trajectoire s'incline au Nord-Est et à l'Est. En un mot les vents ont toujours leur maximum de violence sur la droite de la trajectoire parcourue par le cyclone, cette droite étant déterminée

comme la rive droite d'un fleuve. C'est précisément celle où les deux vitesses ont la même direction. Dans l'hémisphère Austral où la rotation des cyclones est renversée, leur demi-cercle dangereux est situé sur la gauche de leur trajectoire.

Un autre caractère très-remarquable des cyclones est la baisse barométrique énorme qui les accompagne. Cette baisse est d'autant plus extraordinaire, qu'elle a lieu dans des régions où le baromètre est d'une constance très-grande. C'est au centre même du tourbillon que se trouve la pression minimum ; elle est le résultat et non la cause du mouvement tournant.

§ II. — **Théorie des cyclones.**

Les applications nombreuses de la force centrifuge à l'industrie nous ont familiarisés avec les effets de cette force. Imprimons à l'eau d'un vase un mouvement de rotation autour d'un axe vertical, nous verrons immédiatement la surface du liquide se creuser au centre et se relever sur les bords. L'eau fuit l'axe de rotation, jusqu'à ce que l'action de la pesanteur agissant sur la surface inclinée vers le centre fasse équilibre à cette tendance excentrique.

Un corps quelconque abandonné librement à lui-même, en dehors de toute action étrangère, reste au repos, ou, s'il est animé d'un mouvement antérieur, il se meut en ligne droite et d'une vitesse constante. Toute modification dans la vitesse ou la direction du mouvement exige l'intervention d'une force en rapport avec le changement produit. Les planètes abandonnées à leur seule vitesse acquise s'éloigneraient du soleil suivant la tangente à l'orbe qu'elles décrivent ; elles sont maintenues sur cet orbe par l'attraction continue exercée sur elles par le soleil. De cet astre émane la force réellement active ; la force fictive,

égale et contraire, est appelée conventionnellement force centrifuge et introduite dans tous les calculs astronomiques comme moyen de simplification du langage. Cette dernière force, en effet, est indépendante de la nature des attaches au centre; son action est réglée par le mouvement circulaire seul; elle est connue en grandeur et en direction dès que le mouvement est connu. Il ne reste plus alors qu'à chercher l'action réelle, cause de l'effet observé : cette action peut être très-variable dans sa nature.

Dans une fronde en mouvement la ténacité du fil maintient la distance du mobile au centre de rotation; quand le fil se rompt ou qu'on lâche un de ses bouts la pierre continue sa route suivant la tangente au dernier élément du cercle décrit avant qu'elle devînt libre.

Dans un tourbillon produit au sein d'une masse d'eau; la force centrale naît de la pesanteur et de la tendance de l'eau à glisser sur le plan incliné formé à sa surface.

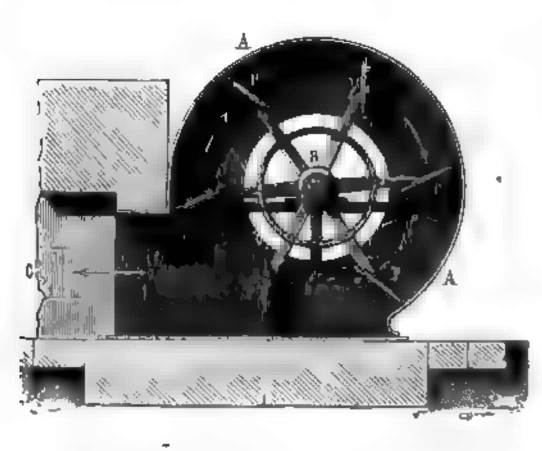


Fig. 41.

Dans un ventilateur à rotation continue, tel que nous en donnons un dessin (fig. 41), si l'orifice O de sortie du gaz était fermé, l'air porté vers la circonférence y augmenterait de densité jusqu'à ce que son excès de ressort fît équilibre au mouvement centrifuge. Dans ce cas, la force tirant vers le centre serait remplacée par une force poussant vers lui : le résultat final reste le même.

Débouchons l'orifice du ventilateur, l'équilibre sera rompu et un courant continu pénètrera dans l'appareil par l'axe B pour se porter à la circonférence et s'échapper par l'orifice O. Ce mouvement sera d'autant plus rapide que la rotation sera plus précipitée. Mais, pour que l'air extérieur afflue vers le centre, il faut qu'en ce point la pression soit moindre qu'au dehors, de même que, à la périphérie, elle doit être supérieure à la pression extérieure pour que la sortie du gaz ait lieu.

Les figures 42 et 43 représentent un autre ventilateur dû à M. Combes. Cet appareil est ouvert sur tout son pourtour; la

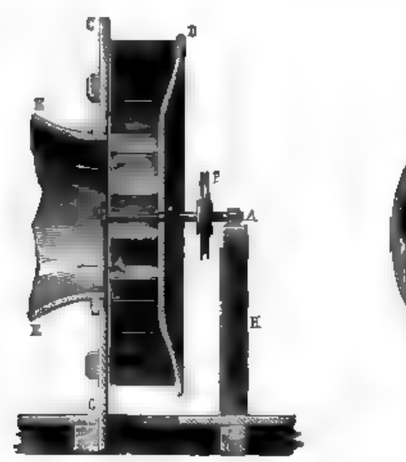


Fig. 42.

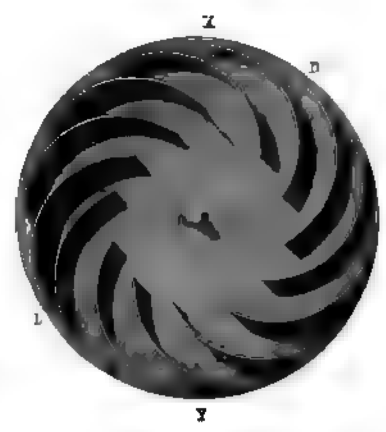


Fig. 43.

résistance à la sortie du gaz y est à peu près annulée par l'étendue considérable de la section par laquelle cette sortie a lieu; par contre, la force d'aspiration par le centre est accrue d'une quantité correspondante et la raréfaction de l'air y atteint un plus haut degré.

Un tourbillon est un ventilateur d'une immense étendue, en envisageant sa rotation en elle-même et non dans les causes qui la produisent. La baisse du baromètre au centre s'explique ainsi d'une manière toute naturelle; il en est de même d'un autre fait généralement négligé malgré son importance pra-

tique : la hausse du baromètre sur le pourtour du cyclone, vers les bords extérieurs de son disque tournant.

Malgré cette distribution des pressions, décroissante de la circonférence vers le centre, distribution qui donnerait lieu partout à des vents dirigés vers ce dernier point si, dans ce cas, le vent était dû à la différence des pressions, l'air suit une marche inverse dans la section la plus rapide du tourbillon, et, tout en tournant autour de l'axe, il s'en éloigne en vertu de la force centrifuge. Ce mouvement centrifuge doit évidemment être compensé par un mouvement inverse. L'aspiration qui se produit dans l'axe du disque tournant y appelle l'air des deux côtés, et cet air ainsi attiré est, au moins en grande partie, fourni par les masses gazeuses refoulées sur le pourtour du disque tournant. Il s'établit ainsi une double circulation qui, au milieu d'une masse d'air indéfinie, ne saurait présenter la régularité que l'on constate dans les machines précédemment citées.

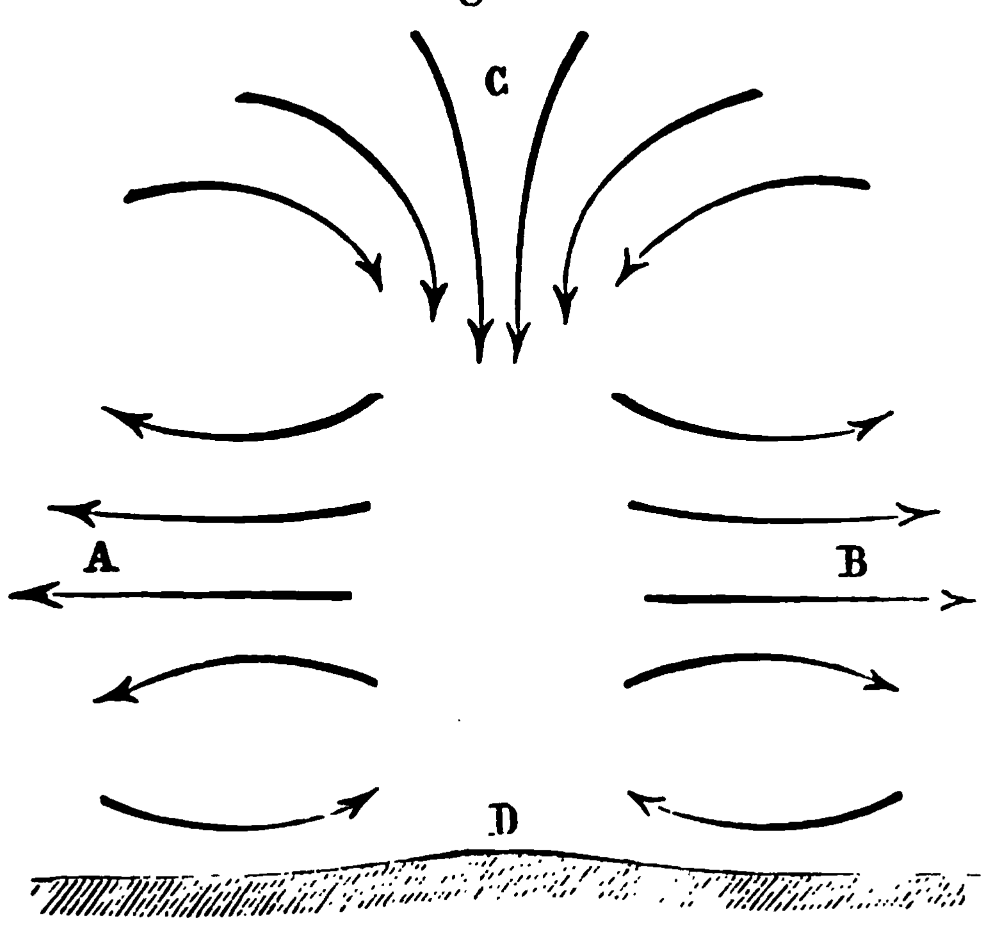


Fig. 44. — Coupe théorique d'un tourbillon en négligeant les effets de torsion.

L'entrée de l'air dans le tourbillon ne s'opère pas dans les mêmes conditions par les deux extrémités de l'axe. L'extrémité supérieure est libre dans l'atmosphère, rien n'y gêne les mouvements de la masse gazeuse. Les frottements à la surface du sol forment au contraire un obstacle au mouvement de l'extrémité inférieure; mais, par contre, les condensations de vapeur qui s'y opèrent sont l'origine d'une force motrice spé-

ciale[1]. Les divers éléments de la double circulation atmosphérique dans les mouvements tournants peuvent donc changer notablement suivant l'énergie de la rotation, son ampleur, son origine, la phase de son développement ou de sa fin, les conditions locales que le météore traverse. Nous ne nous occupons, pour le moment, que des grands tourbillons nommés cyclones.

La figure 44 en donne une représentation toute théorique : les flèches qui y sont tracées ont simplement pour objet d'indiquer le mouvement centrifuge qui se produit dans la portion AB du disque tournant et l'afflux de l'air qui s'opère des deux extrémités de l'axe vers cette région. En réalité, les lignes parcourues par l'air sont fortement contournées en spirales par l'effet de la rotation que nous ne pouvons figurer.

Les principales discussions qu'a fait naître la théorie des cyclones portent surtout sur la hauteur à laquelle est établi le disque tournant AB et sur l'importance relative des deux mouvements compensateurs en C et en D.

Le disque tournant ne peut occuper les très-hautes régions de l'atmosphère ; l'air y est trop rare, la densité trop faible ; sa force vive serait insuffisante pour produire les grands effets dus aux cyclones. Ce disque ne peut guère non plus reposer directement sur le sol où les frottements ralentiraient trop son mouvement de rotation. C'est dans les régions moyennes qu'il peut se développer en toute liberté, et l'appel d'air doit généralement s'effectuer par les hautes et par les basses régions. Suivant les conditions, l'une ou l'autre voie sera prépondérante et la tempête en reçoit son caractère propre.

Dans les cyclones, l'axe de rotation ou l'aspiration qui s'y produit doit s'étendre à de très-grandes hauteurs, car nous les voyons en plein alizé suivre une direction nettement in-

[1] Voir à la fin du volume la note résumant les travaux de MM. Espy, Peslin, sur ce sujet.

clinée sur la direction des couches inférieures de l'atmosphère; puis, quand ils ont dépassé la limite de la région où soufflent les vents alizés, ils prennent graduellement la direction du contre-alizé qui occupe alors toute la hauteur de la couche atmosphérique. Ce fait ressort nettement de la planche X, page 232 où est figurée la trajectoire parcourue par l'ouragan d'août 1848. Né sur la limite nord de la région des calmes équatoriaux, s'il ne s'était développé que dans la couche d'air formant l'alizé du N. E. qui, dans les parages traversés par la tourmente, souffle plutôt de l'E. N. E., il eut suivi cette direction et se fut porté sur l'Amérique au lieu d'en suivre les côtes à distance en marchant vers le N. O. Mais son axe s'élevait jusque dans la région du contre-alizé; les masses d'air qu'il attirait dans son cercle d'action ont au contraire une direction du S. au N., inclinant de plus en plus vers l'E. à mesure qu'on s'éloigne davantage de l'équateur. La combinaison de ces vitesses diverses a relevé d'abord sa trajectoire vers le N. O., puis vers le N., et enfin vers le N. E., à mesure qu'il s'éloignait d'avantage de son origine.

En dehors de ce fait important qui se reproduit toujours le même dans les mêmes conditions, nous n'avons rien pour nous renseigner sur la marche de l'air dans la portion supérieure des cyclones. Il n'en est plus ainsi dans l'atmosphère solaire que nous voyons par sa face extérieure et dont les taches seraient, d'après M. Faye, dues à des tourbillons analogues à nos cyclones, opinion que nous partageons d'ailleurs pleinement.

Nous avons déjà vu, page 101, que toute masse gazeuse qui s'élève dans une atmosphère y gagne des régions où la pression et la densité vont graduellement en diminuant. Cette masse gazeuse se dilate de plus en plus; une partie de sa chaleur est consommée dans le travail de son expansion, et sa température baisse. L'inverse est produit pendant la descente: le gaz s'y échauffe.

Les plus récentes découvertes sur la nature du soleil, celles n particulier de M. Janssen, nous montrent cet astre comme omposé d'un noyau central à l'état de fusion, enveloppé d'une mmense atmosphère, incandescente elle-même, dans la plus rande partie de son épaisseur. Si cette atmosphère était à 'état purement gazeux elle serait pour nous fort peu éclairante : c'est aux nuages de vapeurs métalliques condensées lans sa masse qu'elle doit son éclat, de même que la flamme resque invisible de l'hydrogène devient très-brillante quand on introduit des poussières de charbon ou des fils de platine. Pour expliquer la période glacière dont les vestiges couvrent ine grande partie de la surface du globe, il n'est donc pas nécessaire de supposer que le soleil ait passé par une période le refroidissement; il suffit de supposer que son atmosphère ait passé par une période de pureté exceptionnelle, fût-elle même alors plus chaude qu'elle ne l'est actuellement.

Qu'un vaste cyclone se forme dans l'atmosphère solaire, u dessous de la couche nuageuse et brillante, il pourra rriver au début que l'aspiration dans la partie supérieure le l'axe n'atteigne pas à cette couche; le seul effet produit era une concentration plus grande des nuages sur le prolongement de l'axe, qui deviendra plus brillant; mais le développement du tourbillon faisant des progrès, ces masses nuageuses eront entrainées vers les régions inférieures par l'effet de 'aspiration; la descente y produira une élévation de température; les nuages se fondront et une tache apparaîtra. Les contre-courants ascendants qui se produisent sur le pourtour ont accompagnés d'un effet inverse et la condensation des nuages a lieu autour de la tache, y produisant les facules ou parties brillantes.

A la surface terrestre, nous voyons le phénomène par en bas, de l'intérieur, au lieu de le voir de l'extérieur : ce sont les nuages et les pluies qui nous montreront le lieu des courants

ascendants, en tenant compte toutefois de cette circonstance que les courants ascendants et descendants sont en même temps animés, autour du centre, d'une vitesse tangentielle qui les fait passer d'une latitude plus chaude à une latitude plus froide, ou réciproquement. Or, généralement, dans les cyclones, ce n'est pas au centre même que les pluies sont les plus abondantes : le ciel y est clair en même temps que l'air calme. Sur le pourtour, là où le baromètre est en hausse, le ciel est aussi généralement beau. Les nuages et les pluies vont en augmentant de la circonférence jusqu'à une certaine distance du centre, du moins sur la partie pluvieuse du disque tournant.

En raison des résistances que les aspérités du sol opposent au mouvement de l'air, la vitesse de rotation maximum et par suite le mouvement centrifuge sont à une certaine hauteur variables suivant les conditions. A la surface même du sol, l'appel vers le centre l'emporte sur la force centrifuge : le mouvement y est généralement centripète, mais il ne s'étend pas jusqu'à l'axe même : les masses d'air inférieures sont emportées par le disque tournant avant qu'elles aient atteint l'axe. Les nuages d'ailleurs sont alors très-bas et leur direction change rapidement avec la hauteur.

Les effets de l'aspiration par en bas se font sentir sur la mer elle-même : le niveau de l'eau s'élève d'une manière sensible, formant comme une marée locale qui suit le centre de la tempête dans ses déplacements successifs. La violence du vent soulève une mer affreuse ; la crête des lames est emportée dans l'espace et une pluie salée retombe de toutes parts; les vagues battues par les vents successifs dont elles ne peuvent suivre la direction variable finissent par s'entre-choquer et par s'élever pour retomber verticalement sur elles-mêmes : elles produisent alors ces lames sourdes si redoutées des marins. Au milieu du calme des vents, dans la région centrale du cyclone, cet horrible état de la mer fait courir aux navires les plus grands

dangers. Sur le pourtour du tourbillon, la mer prend des directions plus marquées, parce que le vent y change moins rapidement; il s'échappe de tous les points de l'horizon de vastes ondulations qui vont se briser sur les côtes éloignées et y produire de violents raz de marée [1].

Dans les mouvements tournants, la variation des pressions n'a pas lieu seulement dans le sens de la hauteur; on l'observe également du pourtour au centre. Bien que, dans cette seconde direction, la variation de pression soit beaucoup moins rapide que la première, ses effets ne sont pas négligeables. D'un autre côté, les cyclones mélangent ensemble des masses d'air

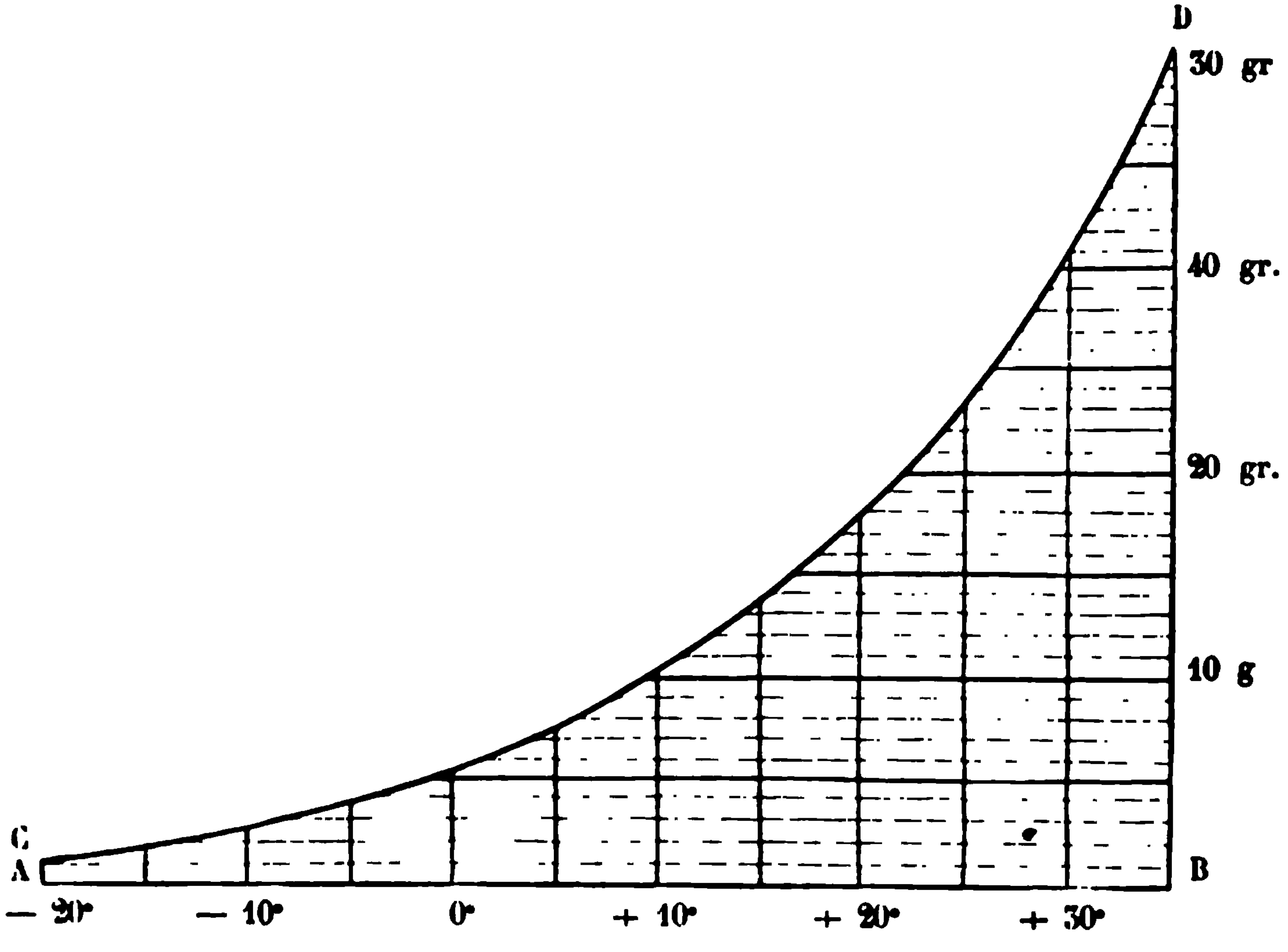


Fig. 45. — Table figurée des poids de vapeur d'eau renfermée dans un espace de 1 mètre cube saturé à diverses températures.

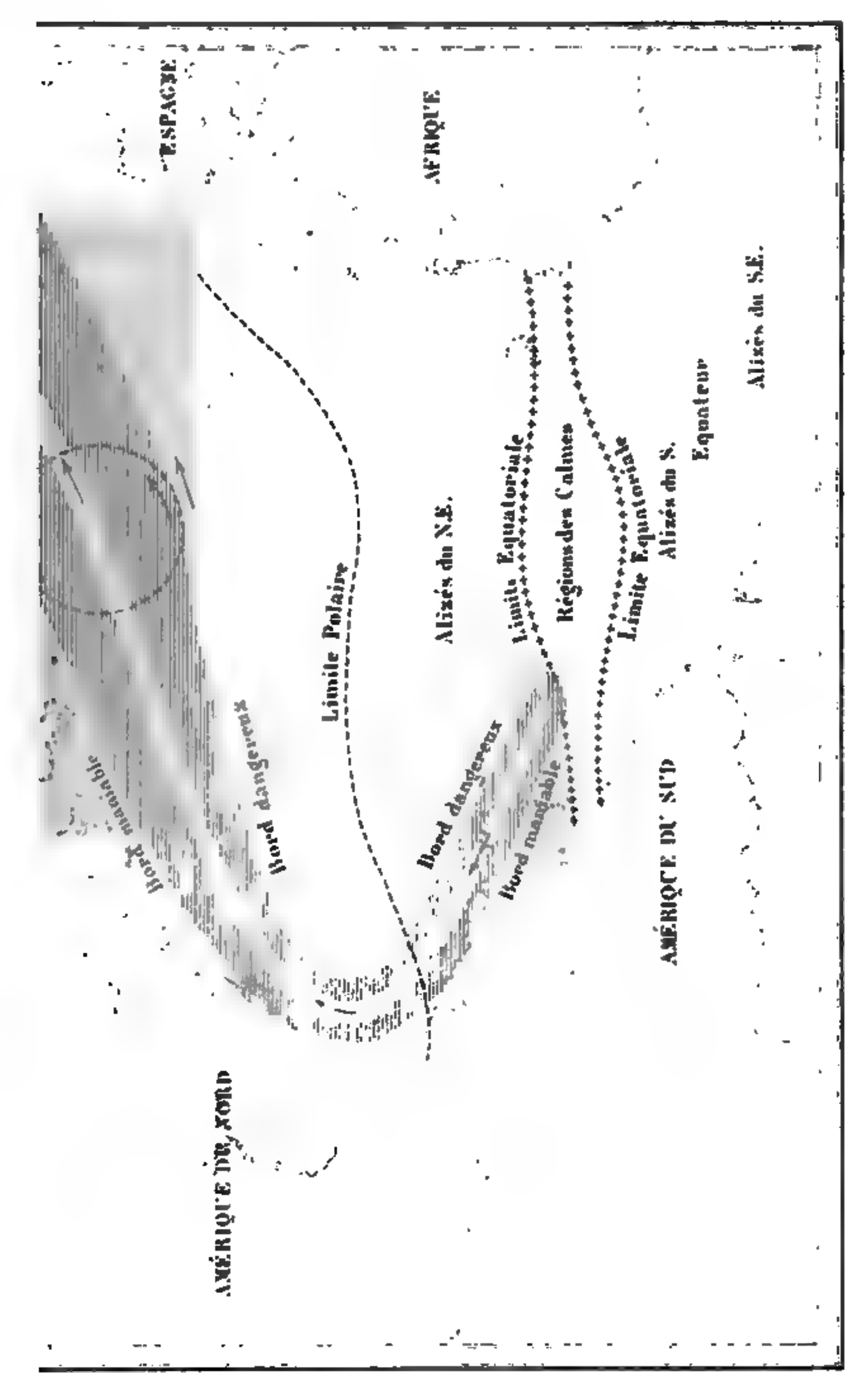
prises à des altitudes très-diverses et ayant des températures très-inégales, l'abaissement des unes, l'élévation des autres tendent à égaliser leur degré thermométrique, mais la formation des grêles en plein été montre que cette égalisation est loin d'être parfaite. L'air attiré vers le centre afflue d'ailleurs

[1] Lefèvre, *Des ouragans dans l'océan Indien.*

du nord aussi bien que du midi et les masses réunies de ces points opposés sont à des températures différentes. Les mélanges formés dans ces conditions amèneront fréquemment des condensations de vapeur, des nuages et des pluies. En nous reportant en effet à la figure 45, nous trouvons, par exemple, que 1 mètre cube d'air saturé à 30° contient 32 grammes de vapeur. Mélangeons ce gaz avec 1 mètre cube d'air sec à 0°, nous aurons 2 mètres cubes d'air à une température moyenne de 15° pouvant renfermer seulement chacun 14 grammes de vapeur, soit 28 grammes pour les deux. Or, le premier en renfermait 32 grammes: 4 grammes auront dû se condenser. Cette condensation, il est vrai, amènerait un dégagement de chaleur latente qui échaufferait la masse gazeuse; mais l'échauffement produit par la condensation peut la restreindre et non l'annuler.

Toutes les recherches faites sur l'électricité atmosphérique démontrent que cet agent devient de plus en plus abondant à mesure qu'on s'élève plus haut dans l'atmosphère. Le mouvement tournant, ayant pour effet d'appeler vers la surface terrestre l'air des hautes régions, est une condition favorable à la production des orages. Les nuages, en se formant, ramassent à leur surface l'électricité répandue dans les masses d'air qui leur ont fourni leur vapeur, et, d'autre part, il est très-possible que la condensation de la vapeur soit par elle-même une cause de dégagement d'électricité, bien que des expériences directes ne l'aient pas encore démontré.

Les ouragans sont toujours accompagnés d'orages formidables dont les nôtres ne peuvent donner qu'une faible idée. La coexistence de ces deux ordres de phénomènes est même tellement frappante, que l'on est souvent conduit à attribuer une origine électrique aux cyclones. Si l'électricité peut devenir la cause des trombes, espèce de cyclones en miniature, les ouragans ne peuvent nullement être rattachés à la même in-


ESPAGNE
AFRIQUE
Alizés du S.E.
Equateur
Alizés du S.
Limite Equatoriale
Régions des Calmes
Limite Equatoriale
Alizés du N.E.
Limite Polaire
Bord dangereux
Bord maniable
Bord dangereux
Bord maniable
AMÉRIQUE DU SUD
AMÉRIQUE DU NORD

fluence; les orages sont un produit du cyclone, ils peuvent en aggraver et en compliquer les effets; la cause de ses mouvements violents est ailleurs. Nous la rechercherons bientôt, mais nous pouvons trouver déjà, dans le tourbillon lui-même une fois produit, les causes de sa durée.

Une toupie qui tourne conserve son mouvement de giration tant que sa vitesse initiale n'est pas détruite par les frottements. Les conditions sont tout autres dans un tourbillon ou tout se renouvelle. Les masses d'air qui le composent à un moment donné ont disparu quelques heures après par le pourtour du disque tournant : elles sont remplacées par d'autres, prises dans un état de repos relatif et qu'il faut mettre en mouvement jusqu'à ce qu'elles soient à leur tour éliminées de la masse en rotation. Ce n'est donc pas un état qui dure dans la même masse de matière, mais qu'il faut reproduire sans cesse avec des matériaux nouveaux; et, de plus, les résistances dues aux frottements tendent à éteindre le mouvement.

Revenons à notre figure 44 et imaginons que la section qu'elle représente soit faite suivant un méridien. Les masses d'air qui affluent par le bas ou par le haut de toutes les directions vers le centre viennent de divers parallèles et sont animées, dans le sens de l'est, de vitesses différentes.

En partant de la vitesse moyenne du centre d'aspiration, l'air venu du nord est doué d'une vitesse moindre, il semble rétrograder vers l'ouest; l'air venu du midi est, au contraire, doué d'une vitesse plus grande, il semble porter à l'est. Ces deux tendances opposées produiraient à elles seules un mouvement tournant : elles l'entretiennent quand il existe déjà. C'est ce qui imprime à toutes les tempêtes faibles ou fortes qui sévissent sur l'hémisphère nord une rotation toujours de même sens, et aux tempêtes de l'hémisphère sud une rotation toujours de sens contraire. Si l'air se renouvelle sans cesse dans le mouvement tournant, les masses qui s'y succèdent ont

en elles les éléments nécessaires à leur tourbillonnement : le résultat est le même que si la masse en mouvement ne se renouvelait pas et fonctionnait comme un corps solide. Restent les pertes par frottement.

Nous avons vu que d'abondantes condensations de vapeur d'eau ont lieu dans les tempêtes tournantes. L'eau des pluies s'y trouvait à l'état de vapeur mêlée à l'air ; il entre donc plus de gaz dans un mouvement tournant qu'il n'en sort : la force vive contenue dans la portion qui s'en condense en eau répare les pertes dues aux frottements. D'un autre côté, cette condensation de la vapeur régénère la chaleur consommée dans l'acte de leur formation, et cette chaleur devient une source de travail qui contribue pour une large part à entretenir le mouvement. Les masses d'air, au milieu desquelles elle reparaît, s'échauffent sous son influence et en reçoivent une force ascensionnelle qui aide à l'alimentation du disque tournant [1].

Un même cyclone peut durer et se promener pendant quinze à vingt jours à la surface des océans ou des continents. Sur ces derniers, toutefois, il s'use plus vite que sur les mers, parce que les frottements y sont plus grands et les condensations de vapeur moins abondantes.

§ III. — Direction du vent dans les cyclones.

Jusqu'à présent nous n'avons envisagé la direction des vents que par rapport à l'axe du mouvement tournant, et nous avons dit que cette direction était circulaire, avec une tendance à s'éloigner de l'axe dans le disque tournant principal, avec une tendance à s'en rapprocher dans les parties inférieures et supérieures. Si, au lieu d'envisager ainsi les faits par rapport à un axe qui est lui-même mobile à la surface du globe, nous

[1] M. Peslin, — note à la fin du volume.

le considérons par rapport à la surface de la terre, les apparences changent d'une manière notable.

Imaginons que l'air se meuve circulairement autour du centre O (figure 46), dans le sens ordinaire des cyclones de notre hémisphère, et avec une vitesse de 10 lieues à l'heure; imaginons, de plus, que tout le système se meuve de l'ouest à l'est avec une égale vitesse de 10 lieues à l'heure. La mécanique nous apprend que quand un point est ainsi animé de deux vitesses relatives, la vitesse vraie, ou résultante, est représentée en grandeur et en direction par la diagonale du parallélogramme construit sur les deux vitesses composantes. Pour trouver la direction du vent par rapport à la surface terrestre, en chacun des huit points du cercle correspondant aux huit principaux rhumbs du vent, nous avons fait aboutir à chacun de ces huit points deux lignes d'égale grandeur, l'une de direction constante, l'autre tangente au cercle, et nous avons tracé les diagonales des parallélogrammes construits sur ces lignes. Au point A, les deux vitesses égales et opposées ont donné une résultante nulle, c'est le calme. En E, les deux vitesses sont égales et de même sens, elles s'ajoutent; le vent souffle avec une vitesse de 20 lieues à l'heure. De l'un à l'autre point la vitesse va en croissant ou en décroissant, mais en prenant des directions intermédiaires entre les deux directions composantes.

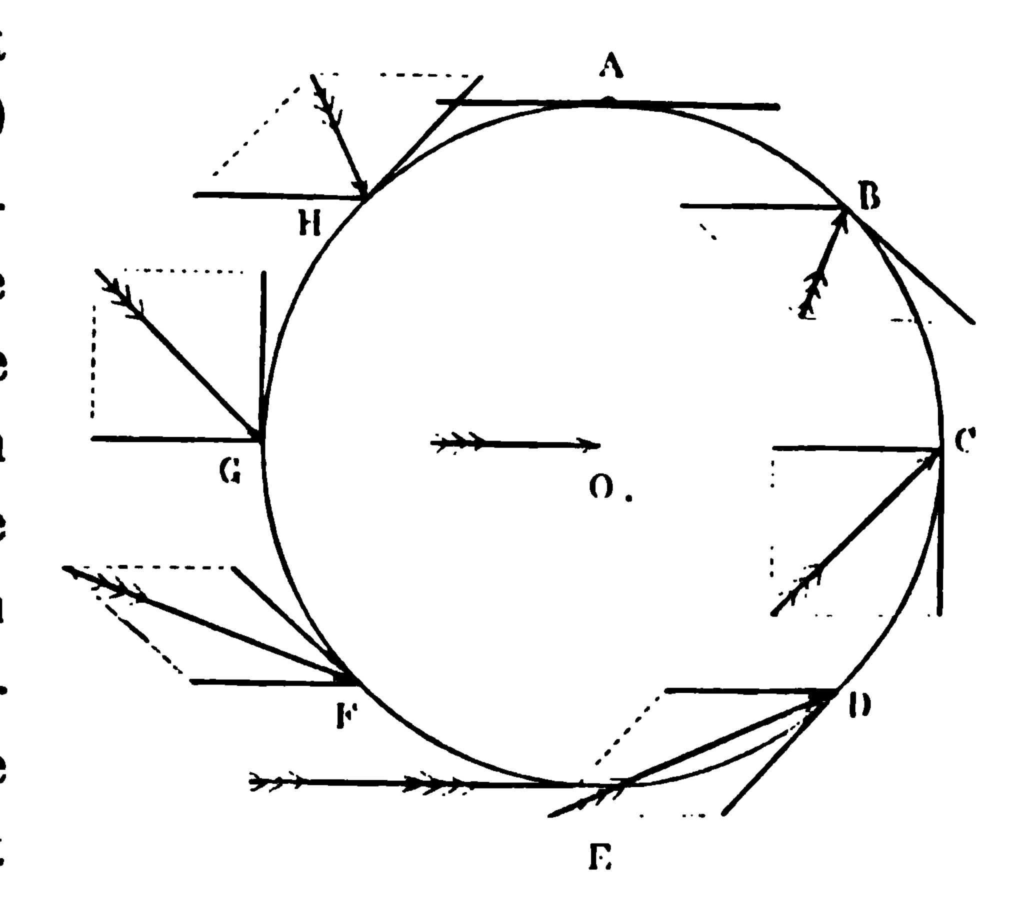


Fig. 46. — Composition des vitesses de l'air dans un cyclone.

La vitesse du vent est donc loin d'être la même sur tout

le pourtour du disque tournant; elle est maximum sur la droite de la trajectoire parcourue par le centre de la tempête: là est le *demi-cercle dangereux;* elle est minimum sur la gauche de cette trajectoire: là est le *demi-cercle maniable.* La différence est d'autant plus accusée que la vitesse de translation du centre de la tempête est plus grande. Cette vitesse est faible dans les régions intertropicales; le caractère fondamental des cyclones y a été promptement constaté: elle est plus grande dans nos parages, et le même caractère fondamental de nos tempêtes d'Europe a été longtemps méconnu.

Nous voyons d'autre part qu'il n'est pas exact, dans tous les cas, de dire que le centre d'un mouvement tournant est sur la gauche du vent *dans une direction perpendiculaire* à celle du vent. Il faut d'ailleurs encore tenir compte des vitesses centripètes et centrifuges, et des mouvements généraux de la masse d'air où voyage le cyclone.

Reid et Piddington ont négligé dans leurs études et la vitesse de translation du centre et la vitesse dans le sens du rayon; ils ont donné aux trajectoires du vent une forme circulaire. Meldrum, en voulant serrer la vérité de plus près, a négligé la vitesse de translation et la composante résultant de ce que cette vitesse de translation diffère de la vitesse générale de l'air dans les couches inférieures de l'atmosphère. Il a été amené à exagérer outre mesure l'effet de la vitesse convergeant vers le centre, dans le diagramme qu'il donne des tempêtes tournantes. La détermination du point occupé par le centre d'un cyclone et surtout de la route qu'il doit suivre est, pour le marin placé en mer en face d'une tempête, un problème beaucoup plus complexe qu'on ne l'a supposé d'abord. Il est délicat même pour le physicien placé dans son cabinet devant une carte sur laquelle sont pointés les vents et les hauteurs barométriques, parce que l'axe du tourbillon étant rarement vertical, le minimum de pression coïncide rarement aussi avec

le centre apparent de la rotation. C'est un sujet qui demande de nouvelles recherches.

§ IV. — Effets produits par les cyclones.

Parmi les nombreuses descriptions renfermées dans les écrits sur les tempêtes tropicales, nous en choisirons une seule, déjà citée par MM. Zurcher et Margollé dans leur ouvrage sur les ouragans.

Le capitaine de frégate Bridet se trouvait à Mozambique à bord de la goëlette *l'Églé*, lorsqu'il fut assailli par un ouragan. Voici le récit qu'il en donne : [1]

« Le premier avril 1858, dans la nuit, le vent prit par rafales du S. E. au S. S. E. accompagnées d'une pluie diluvienne. La mer, un peu grosse, était néanmoins arrêtée par la terre et ne fatiguait pas trop le navire, mouillé sur deux ancres. A 6 heures du matin, le baromètre marquait 758 millimètres.

« Vers midi, le baromètre continuant à baisser et le vent à augmenter sans changer de direction, nous vîmes bien que nous allions avoir affaire à un ouragan des tropiques, et nous prîmes nos précautions en conséquence.

« Deux autres ancres furent mouillées et filées avec les deux premières qui se trouvèrent alors avec cinquante brasses de chaînes, et les deux dernières avec vingt-cinq. Un trois-mâts portugais, à peu de distance de la goëlette, ne nous permettait pas d'en filer davantage ; mais nous étions par cinquante brasses de fond ; avec nos quatre ancres nous pouvions résister.

« La mâture fut réduite aux deux seuls bas-mâts, et, à deux heures de l'après-midi, nous n'avions plus qu'à attendre les

[1] *Études sur les ouragans de l'hémisphère austral*, par H. Bridet. Saint-Denis, 1861.

effets du vent qui soufflait toujours du S. E. avec la plus grande violence. Le baromètre indiquait 755 millimètres.

« Toute la journée le vent augmenta et le baromètre baissa : à six heures du soir il était à 748. La mer devenait très-grosse malgré l'abri de la terre, et la goëlette tanguait de manière à faire croire à chaque instant à la rupture des chaînes. Le plus grand nombre des bateaux arabes à l'ancre près de nous chassaient sur leurs faibles amarres, quelques-uns déjà étaient à la côte; la nuit se faisait et le vent soufflait en augmentant encore.

« Vers neuf heures du soir, la pluie redouble d'intensité, le vent de fureur.

« A onze heures, le baromètre marque 742. A onze heures quarante-cinq minutes, un calme subit succède aux rafales, au moment où elles semblaient augmenter de violence. La tempête s'est apaisée d'une façon si brusque, que nous passons sans transition des craintes les plus vives à la sécurité la plus complète. Le temps s'embellit, la pluie cesse.

« Autour de nous flottent les débris appartenant aux nombreux bateaux arabes qui sont déjà naufragés. Des cris se font entendre et ce sont les Français qu'on implore. A quelque distance nous apercevons une masse noirâtre qui va à la dérive, et le temps est assez clair pour que nous distinguions quelques matelots cramponnés à ce débris flottant : c'est une goëlette portugaise qui a chaviré et sur la quille de laquelle ils se maintiennent à grand'peine. Malheureusement nous n'avions sur les porte-manteaux qu'une embarcation trop faible pour affronter la mer encore très-grosse. Les cris s'éloignent et se perdent bientôt au milieu du bruit de la mer qui roule sur le rivage.

« Pendant que le temps semblait revenir au beau et que le calme le plus complet permettait de tenir sur le pont une bougie allumée, le baromètre se maintenait à 740 et nous in-

liquait que nous passions par le centre de l'ouragan, qui, suspendu pour un moment, allait reprendre avec fureur.

« A une heure, en effet, les premières rafales, au N. O. tombaient à bord comme un coup de foudre et faisaient pirouetter la goëlette, qui allait subir un nouvel assaut. Cette fois, le vent et la mer nous poussent sur l'île de Mozambique, à peu de distance de laquelle nous sommes mouillés. La mer venant du fond de la baie est tellement grosse, qu'à chaque instant l'*Églé* disparaît tout entière.

« Mais le danger le plus terrible provient d'une pangaie arabe qui s'était arrêtée à quelques brasses de nous : la direction tout à fait opposée du vent fait qu'elle est droit sur notre avant, et nous ne tardons pas à nous apercevoir qu'elle ne peut résister aux efforts de la tempête. Une heure se passe, pleine d'anxiété fiévreuse ; la pluie a recommencé avec la saute de vent et la mer devient monstrueuse. La pangaie se rapproche et, dans une rafale affreuse, vient tomber en travers sous notre beaupré. L'*Églé*, soulevée par la mer, enfonce son avant dans le flanc du bateau, des craquements se font entendre, les mâts et les vergues tombent à bord, et dans cette lutte entre deux faibles navires il est à craindre qu'il y ait deux victimes.

« Enfin la pangaie cède et ses deux tronçons nous quittent, chargés encore de malheureux Arabes qui vont à la mort sans un geste, sans un cri, sombres et résignés, eux d'ordinaire si bruyants à la moindre manœuvre.... Nous en avions sauvé quatorze avec les cordes que nous leur avions lancées ; les autres se noyaient à quelques brasses sans qu'il nous fût possible de les arracher à la mort. A peine ces infortunés ont-ils disparu, que nous songeons à nous-mêmes. La goëlette ne fait pas d'eau, mais deux chaînes ont été cassées, les ancres chassent, nous sommes poussés à la côte par les coups de mer, qui nous couvrent de bout en bout.

« Cependant, le baromètre remonte et nous indique que

l'ouragan, s'il n'a pas diminué de violence, touche du moins à son terme. Il est trois heures du matin, et dans quelques heures nous pouvons être sauvés. Cet espoir s'évanouit bientôt, un coup de talon nous annonce que nous sommes à la côte. Le gouvernail est démonté, la roue vole en éclats, nous sentons à chaque coup de mer le pont nous manquer sous les pieds, les mâts vibrent comme des joncs, nous menaçant à chaque instant de leur chute.... L'avant de la goëlette flotte encore, l'arrière seul frappe le fond. Elle pourrait se briser, mieux vaut l'échouer complétement. Les chaînes sont prises par l'avant, une voile nous fait abattre, le navire monte sur la plage et se couche sur un lit de sable. — Nous sommes sauvés....

« Le spectacle qui s'offre à nous aux premières heures du jour est navrant. De tous les navires mouillés dans la baie trois seuls ont résisté. Tous les bateaux arabes sont à la côte; plus de deux cents hommes ont péri.

« L'ouragan a été terrible à terre : les plantations ont été ravagées, des arbres séculaires arrachés, les cocotiers brisés. Partout la dévastation et la ruine. »

Les cyclones de l'Atlantique Nord ne sont pas moins redoutables que ceux de la mer des Indes, et les Antilles sont de temps à autre visitées par ces terribles météores. Le mois d'octobre 1780 a été particulièrement signalé par des ouragans désastreux[1]. Le premier détruisit Savanna-la-Mary, sur la côte ouest de la Jamaïque. L'escadre de l'amiral Rodney s'y trouvait au mouillage; quatre de ses vaisseaux périrent et trois autres furent gravement endommagés. Quelques vaisseaux échappés à ce premier désastre se dirigeaient à grand'peine vers un port de refuge, quand ils furent enveloppés par la seconde tempête et tellement maltraités, que l'un d'eux sombra. Cette seconde tempête étendit ses ravages sur des points très-éloignés les uns des autres,

[1] *Les Tempêtes*, par Zurcher et Margollé.

les Barbades et les îles Leeward furent atteintes en même temps. Elle surprit, au Sud de la Martinique un convoi de cinquante bâtiments français escortés de deux frégates et portant cinq mille hommes de troupes : sept, seulement, de ces navires parvinrent à se sauver. Les ravages furent tellement affreux en quelques points qu'il faut supposer la coïncidence d'un tremblement de terre inaperçu au milieu du bouleversement général. Des coïncidences de ce genre ne sont, du reste, pas très-rares. Lorsque par l'effet du travail des forces centrales, l'équilibre de la croûte solide du globe est sur le point de se rompre, le passage d'un ouragan et quelquefois même d'une simple tempête dans nos climats, suffit pour déterminer la reprise d'un nouvel état d'équilibre et, par suite, pour produire un mouvement plus ou moins prononcé du sol.

Neuf mille personnes périrent à la Martinique, mille dans la seule ville de Saint-Pierre où pas une seule maison ne resta debout : la mer s'étant élevée de 25 pieds au moment du ras de marée, cent cinquante habitations furent englouties presqu'en même temps. A Saint-Eustache, vingt-sept navires vinrent se briser sur les rochers. Six mille personnes périrent à Sainte-Lucie où les plus solides édifices furent détruits. La mer s'éleva à une telle hauteur qu'elle démolit le fort et qu'elle lança un navire jusqu'à l'hôpital maritime qui fut écrasé sous son poids. « Il est impossible de décrire l'épouvantable spectacle présenté par les Barbades, » écrit G. Rodney dans son rapport officiel.

Ces redoutables apparitions n'ont rien de périodique. Dans son long séjour aux Antilles, M. Charles Sainte-Claire-Deville n'en vit aucune[1]; d'après M. Moreau de Jonnès[2], elles peuvent se reproduire jusqu'à 17 fois en vingt-cinq ans, tandis que

[1] *Recherches sur les principaux phénomènes de météorologie et de physique terrestre aux Antilles*, par Ch. Sainte-Claire Deville. 1866.

[2] *Histoire physique des Antilles*, par M. Moreau de Jonnès, p. 346.

d'autres périodes, comptant le même nombre d'années, en sont complétement exemptes. Elles sont limitées, d'ailleurs, à une saison improprement appelée *hivernage*, car c'est la plus chaude de l'année : c'est la saison des pluies.

La baisse extraordinaire du baromètre dans ces régions où les mouvements de la colonne mercurielle ont d'ordinaire une régularité parfaite, a frappé tous les observateurs. D'après M. Moreau de Jonnès, l'ouragan du 3 septembre 1804 fut annoncé dix heures à l'avance à la Martinique par une dépression subite de 7 millimètres : la baisse totale fut de 15 millimètres au plus fort de l'ouragan.

Le 24 août 1832, le baromètre de M. Dupuis, pharmacien en chef de la marine à l'hôpital de la Basse-Terre, marquait 763 millimètres à 10 heures du matin ; à 3 heures 5 minutes du soir il tombait à 727^{mm}5. La baisse avait été de 35^{mm}5 en quelques heures.

Pendant l'ouragan du 26 juillet 1825, qui a été le plus désastreux pour la Guadeloupe depuis le commencement du siècle, la dépression totale a été, suivant M. Dupuis, de 21 lignes ou de 47 millimètres.

Kirwan[1] assure aussi qu'à Saint-Barthélemy, en 1792, un ouragan fit baisser le baromètre de 42 millimètres.

De 1844 à 1852, MM. Gibert des Molières et Maillard ont constaté plusieurs ouragans pendant lesquels ils ont suivi les mouvements du baromètre[2]. Dans l'une de ces affreuses tourmentes, qui dura du 19 au 24 février 1844, la pression, observée séparément en deux quartiers de l'île (Saint-Denis et Saint-Benoît), tomba, toutes corrections faites, à 720 et 719 millimètres, ce qui constitue une dépression d'au moins 40 millimètres au-dessous de la hauteur barométrique moyenne.

[1] *Irish transactions*, t. VIII, p. 387.

[2] *Annales de la Société météorologique*, t. I.

Ces chutes énormes pour ces régions correspondent à des tourmentes d'une violence exceptionnelle; on ne les retrouve qu'aux latitudes élevées, sur le Nord de l'Europe où le baromètre tombe quelquefois de 780 à 710 ou 712 millimètres dans un espace de quelques jours.

Ces convulsions de la nature, dit Peltier, paraissent nécessaires pour rétablir l'équilibre dans l'atmosphère, et souvent, malgré les terreurs qu'elles inspirent, les habitants des contrées qu'elles ravagent les appellent de tous leurs vœux. Ces tourmentes brassent, en effet, l'atmosphère avec une singulière énergie en mélangeant toutes ses couches entre elles. Avouons cependant qu'en admettant même la réalité de ces avantages, ils seraient acl. tés bien cher. Nous préférons nous reporter à un autre point d. vue.

§ V. — Règl s pour éviter les cyclones en mer.

Les études répétées auxquelles se sont livrés les marins ont conduit à des résultats pratiques d'une haute importance. Le danger le plus terrible, nous l'avons vu, se trouve au centre ou près du centre : le premier soin doit être de l'éviter quand on le peut. En pleine mer les marins ont actuellement des règles simples pour y parvenir; la situation est plus difficile dans le voisinage des terres ou dans les rades mal abritées et peu sûres.

Dans chacune des mers traversées par les tempêtes tournantes, la marche de ces dernières est actuellement bien connue; le sens de leur rotation est invariablement le même. Aux premiers signes de l'ouragan, le marin doit donc chercher d'après la direction du vent comparée à la position occupée par le navire à la surface des mers, s'il se trouve sur la ligne du centre, ou

bien s'il est à gauche ou à droite de cette ligne. M. l'ingénieur hydrographe Keller a cherché à résumer d'une manière simple, les manœuvres qu'il faut exécuter; nous les traduirons en langage ordinaire.

Supposons-nous dans l'hémisphère Nord, sur l'Atlantique et dans les parages des Antilles, ou dans la région des alizés. Là les ouragans marchent du S. E. au N. O. En avant du disque tournant le vent souffle du N. E., sur la gauche il souffle du N. O., sur la droite il souffle du S. E. et du S. O. sur l'arrière.

Dès que le baromètre se met à baisser d'une manière progressive, que la mer devient houleuse, que le vent commence à prendre une force anormale, le navire doit réduire ses voiles, ou, comme on dit, mettre *à la cape*. Si le vent souffle N. E. ou E. N. E., et conserve cette direction pendant qu'il augmente d'intensité, on se trouve sur la ligne du centre, il faut fuir *vent arrière*. Lorsque le vent commence à tourner vers le N., le baromètre continuant à baisser, on a pénétré dans le demi-cercle gauche du disque tournant, ce qui est le demi-cercle maniable. Il faut continuer à s'éloigner de la ligne du centre; mais on peut déjà tenir un peu plus compte de la direction vers laquelle on tendait avant l'arrivée de la tempête. On fuit alors *grande largue tribord amures;* c'est-à-dire que le navire reçoit le vent presque de l'arrière, mais du côté droit pour une personne qui, étant placée à l'arrière du bâtiment, serait tournée vers l'avant. Dans cette situation le bâtiment suit la ligne qui l'éloigne le plus directement de la région dangereuse. A mesure que le vent tourne vers le N. O., on prend de plus en plus l'allure du largue, c'est-à-dire que le navire reçoit le vent de plus en plus obliquement par son côté droit. On touche alors au moment où le baromètre commence à remonter et on pénètre dans le demi-cercle postérieur de l'ouragan; la situation périlleuse est franchie.

La manœuvre est beaucoup plus difficile lorsqu'on est sur le côté droit que sur le côté gauche. L'allure grande largue ou vent

arrière porterait le navire droit sur la ligne du centre si le vent souffle d'E., ou ferait suivre au navire une route parallèle à celle de l'ouragan, ce qui prolongerait le danger, si le vent soufflait du S. E. Il faut alors faire route *au plus près*, toujours tribord amures, c'est-à-dire qu'il faut orienter le navire de manière qu'il marche le plus près possible dans la direction d'où vient le vent; il reçoit le vent par son côté droit, mais de l'avant et non de l'arrière. C'est sous cette allure que la direction des lames est la plus défavorable, puisqu'on les reçoit par le travers; mais c'est la seule qui éloigne du centre dangereux, surtout si le vent souffle du S. E. Dans la région où nous supposons le navire, l'ouragan marchant du Sud-Est vers le Nord-Ouest, le S. E. règne avec son maximum d'intensité au milieu du demi-cercle dangereux. Si l'on était prévenu à temps, qu'on soit assez éloigné du centre et assez près de la ligne qui sera parcourue par ce centre, il pourrait être avantageux de franchir cette ligne pour passer dans le demi-cercle maniable.

On comprend combien une connaissance approfondie des lois des ouragans peut devenir avantageuse dans des circonstances aussi critiques, et combien il faut de décision et de sang-froid pour appliquer ces connaissances aux conditions particulières du navire, à sa situation par rapport à l'ouragan, au voisinage plus ou moins rapproché des côtes qu'il faut éviter ou qui peuvent offrir un refuge.

Pour mieux préciser les indications, nous avons supposé le navire exposé à un ouragan de l'Atlantique Nord et dans la région des alizés du N. E. Les directions signalées changent à mesure qu'on s'élève vers le Nord; elles changent aussi suivant les mers; mais un fait reste constant, comme le sens de rotation dans chaque hémisphère. Pour fuir le centre dans l'hémisphère Nord, il faut toujours présenter au vent la hanche droite du navire (tribord) ou porter tribord amures suivant le langage des marins. Dans l'hémisphère Sud au contraire, où le sens de la

rotation est renversé, il faut présenter au vent la hanche gauche ou porter bâbord amures[1].

Si le vent soufflait exactement dans la direction de la circonférence dont l'ouragan est le centre, ce centre se trouverait toujours sur une ligne perpendiculaire au vent, sur sa gauche dans notre hémisphère et sur sa droite dans l'hémisphère opposé ; mais nous avons vu que cette direction est déviée, par la vitesse de translation du cyclone, d'une quantité dépendant du rapport des deux vitesses ; il faut donc tenir compte de cette influence.

Tant que le baromètre baisse, le centre s'approche. Suivant M. Bridet, un navire qui se trouve sur la ligne de parcours de l'ouragan peut s'estimer à 24 heures du centre quand le baromètre baisse de $0^{mm}3$ par heure ; à 18 heures s'il baisse de $0^{mm}6$; à 12 heures s'il baisse de 1^{mm} ; à 9 heures s'il baisse de $1^{mm}5$; à 6 heures s'il baisse de 2^{mm} ; à 3 heures s'il baisse de 3^{mm}. Tout près du centre la baisse par heure serait de $4^{mm}5$. En dehors de la ligne du centre la baisse moyenne par heure n'est plus la même et on n'en peut plus conclure la distance approximative que par des appréciations très-délicates.

En dehors des grandes tempêtes tournantes on rencontre fréquemment dans les régions tropicales, spécialement dans la région des calmes, de violents orages accompagnés de coups de vent, de trombes ou de tornados. Ces phénomènes se reproduisant dans nos climats, nous les réunirons dans un même chapitre. Il en est de même de l'origine de ces divers météores.

[1] Les amures sont les cordages qui servent à fixer les extrémités inférieures des voiles au bordage des navires.

CHAPITRE IX

LES TEMPÊTES DE L'EUROPE

§ Ier. — Loi des tempêtes, de Dove.

La planche X nous a montré l'ouragan d'août 1848 s'étendant jusque sur les côtes N. O. de l'Europe et pénétrant sur l'Angleterre. Il est incontestable que quelques-unes, au moins, de nos plus fortes tempêtes se rattachent directement aux ouragans nés dans les régions tropicales de l'Atlantique et se propageant jusqu'à nous. C'est une opinion qui n'est plus sérieusement contestée parmi les météorologistes : le désaccord ne se produit entre eux qu'à l'égard de nos tempêtes ordinaires. Pour Dove en particulier, elles sont le résultat de la substitution des courants polaires aux courants équatoriaux, tandis que nous retrouvons invariablement tous les caractères distinctifs des tourbillons même dans les plus faibles bourrasques orageuses de l'été.

L'éminent météorologiste de Berlin a consacré de longues années d'études à la recherche des lois qui régissent nos tourmentes. Les résultats de ses travaux ont été publiés dans de nombreux écrits et résumés dans son livre de *la loi des tempêtes*

déjà cité précédemment : nous allons essayer d'en résumer à notre tour les principaux passages.

Pour Dove il n'existe pour ainsi dire que deux vents à nos latitudes, les vents équatoriaux et les vents polaires, tous les autres n'étant que des dérivés des deux directions principales. Ces deux courants opposés, dont les propriétés physiques sont si dissemblables, se trouvent toujours en présence, situés à la même hauteur au-dessus de la surface terrestre, et côte à côte au moins dans une partie de leurs parcours. Leurs vitesses et l'ampleur de leurs trajectoires varient avec les saisons, le courant équatorial de l'hémisphère Nord ayant plus d'activité pendant l'automne et l'hiver, et le courant polaire se renforçant un peu pendant le cours du printemps. Le lit qu'ils ont tracé l'un et l'autre dans l'atmosphère remonte plus ou moins haut vers le pôle ; il se déplace vers l'E. ou vers l'O. au gré d'influences complexes et mal connues. Un même lieu se trouve donc alternativement dans le courant équatorial humide et chaud ou dans le courant polaire sec et froid ; le passage de l'un à l'autre de ces vents est accompagné de troubles plus ou moins graves : il se fait suivant des lois déterminées.

Le courant équatorial va du chaud au froid en remontant vers le pôle ; le courant polaire marche du froid au chaud en descendant vers l'équateur : l'un et l'autre conservent une partie des qualités acquises dans leurs lieux d'origine. On peut toujours distinguer ces deux courants par les différences de leurs températures et les diversités d'action exercée par la terre sur leurs directions successives.

L'air sec et froid étant plus dense que l'air chaud et humide, le baromètre est généralement élevé sous l'influence du courant polaire ; son niveau est, au contraire, d'autant plus bas que l'intensité du courant équatorial est plus grande.

Les méridiens terrestres convergent vers le pôle et leur écartement est d'autant plus faible qu'on les considère en un point

plus éloigné de l'équateur. Le lit du courant équatorial doit donc se resserrer graduellement vers le pôle ; l'intensité du courant lui-même doit s'accroître dans le même sens. Cet effet est d'ailleurs favorisé par la diminution de volume ou de force élastique de l'air entraîné vers des régions de plus en plus froides où il se dépouille de sa chaleur et de sa vapeur d'eau. De là les coups de vent du S. O. fréquents sur nos côtes surtout pendant les saisons d'automne et d'hiver. Le courant polaire, au contraire, se ralentit graduellement à mesure qu'il avance, parce que son lit s'élargit de plus en plus, que son volume augmente par la chaleur et par la vapeur qu'il dissout. Aussi les coups de vent du N. E. sont-ils rares, sauf dans quelques régions particulières de l'Europe, ou sous l'influence de conditions spéciales.

La forme arrondie de la terre produit un autre effet. Le courant équatorial pénétrant sur des méridiens dont la vitesse dans le sens de l'Ouest à l'Est décroît vers les pôles, doit prendre, à mesure qu'il avance, une inclinaison croissante vers l'Est ; il doit donc tourner successivement du S. O. vers l'O. Par la même raison, le courant polaire doit tourner graduellement du N. E. vers l'E. Dans les lieux où le courant équatorial s'arrête pour se transformer en courant polaire, le vent tourne graduellement de l'O. au N. O., au N. puis au N. E. Dans les lieux où le courant polaire se relie, au contraire, au courant équatorial, le vent tourne de l'E. au S. E. au S. puis au S. O. Grâces aux déplacements des lits des deux courants, le vent, en un même lieu, pourra faire le tour du compas en allant successivement du S. O. à l'O., puis au N. O., au N., au N. E., à l'E., au S. E. au S. pour revenir au S. O. C'est *la rotation directe* de Dove. Mais un autre système de déplacement des courants peut amener une *rotation inverse*. Dove, en réunissant un très-grand nombre de documents, depuis l'*Ecclésiaste* jusqu'à nos jours, s'est particulièrement attaché à démontrer que la rotation di-

recte est notablement plus fréquente, dans notre hémisphère, que la rotation inverse. C'est le contraire dans l'hémisphère opposé où les effets sont naturellement renversés.

Le passage du courant équatorial au courant polaire n'a toutefois pas lieu exclusivement aux limites extrêmes des deux courants. Dans les points où ces courants se côtoyent, ils réagissent l'un sur l'autre; un échange d'air s'effectue sur leurs faces latérales, et des courants partiels de jonction augmentent beaucoup l'étendue des régions où s'opère la rotation.

Le déplacement mutuel des deux courants se produit également suivant des règles déterminées. Le courant polaire se substitue au courant équatorial, progressivement du Nord au Sud ; l'inverse a lieu pour la substitution du courant équatorial au courant polaire. Cette dernière commence en outre par les régions élevées de l'atmosphère pour se propager successivement jusqu'à la surface du sol, tandis que le remplacement du courant équatorial par le courant polaire commence par en bas pour se propager ensuite aux couches élevées : c'est le résultat des différences de densité des deux courants.

Cette théorie extrêmement ingénieuse a suffi pendant longtemps à l'explication des principaux phénomènes connus de la météorologie d'Europe, jusqu'à l'apparition des nouvelles cartes synoptiques de l'Observatoire; aussi a-t-elle été généralement acceptée. Nous n'insisterons pas pour le moment sur les difficultés qu'elle soulève. Depuis les travaux de Dove, un fait nouveau et capital pour la science s'est produit à l'Observatoire sous l'influence de son directeur actuel, M. le Verrier, et par le concours de tous les météorologistes de l'Europe. Ce fait est la création du bulletin quotidien de l'Observatoire impérial.

§ II. — Bulletin international de l'Observatoire impérial.

L'origine de l'application du télégraphe à la concentration des observations météorologiques, et aux avertissements à donner, sur l'approche des tempêtes, aux régions menacées, est très-controversée dans les ouvrages écrits sur la science du temps. Nous avons montré, page 28, que cette idée féconde est née en France à la fin du siècle dernier ; que la pensée de réunir des observations simultanées faites en un grand nombre de points, en vue des conséquences pratiques à en tirer chaque jour, a même précédé l'invention du télégraphe par Chappe ; que cette pensée avait déjà pénétré assez avant dans les esprits en France pour qu'on en fît un argument en faveur de l'adoption de l'invention nouvelle. Mais nous avons vu en même temps, les circonstances qui en ont fait ajourner la réalisation.

Cinquante ans après, H. Piddington appela de nouveau l'attention sur ce point. Dans un mémoire, publié en 1842, il montra les avantages que la navigation pourrait retirer de l'emploi du télégraphe pour donner avis aux ports de l'approche des ouragans, en exprimant l'espoir de voir prochainement adopter l'usage de ces avertissements.

En 1852, les fondateurs de la Société météorologique de France, MM. A. d'Abbadie, Bérigny, Bravais, Ch. S. C. Deville, J. Haeghens, écrivaient dans leur circulaire aux physiciens : « Avant peu l'Europe entière sera sillonnée de fils métalliques qui feront disparaître les distances et permettront de signaler les phénomènes atmosphériques, à mesure qu'ils se produiront, et d'en prévoir ainsi les conséquences les plus éloignées. »

En 1855, cette idée qui flottait dans beaucoup de bons esprits entra définitivement dans la pratique. Nous croyons ici, devoir laisser la parole à M. le directeur de l'Observatoire impérial,

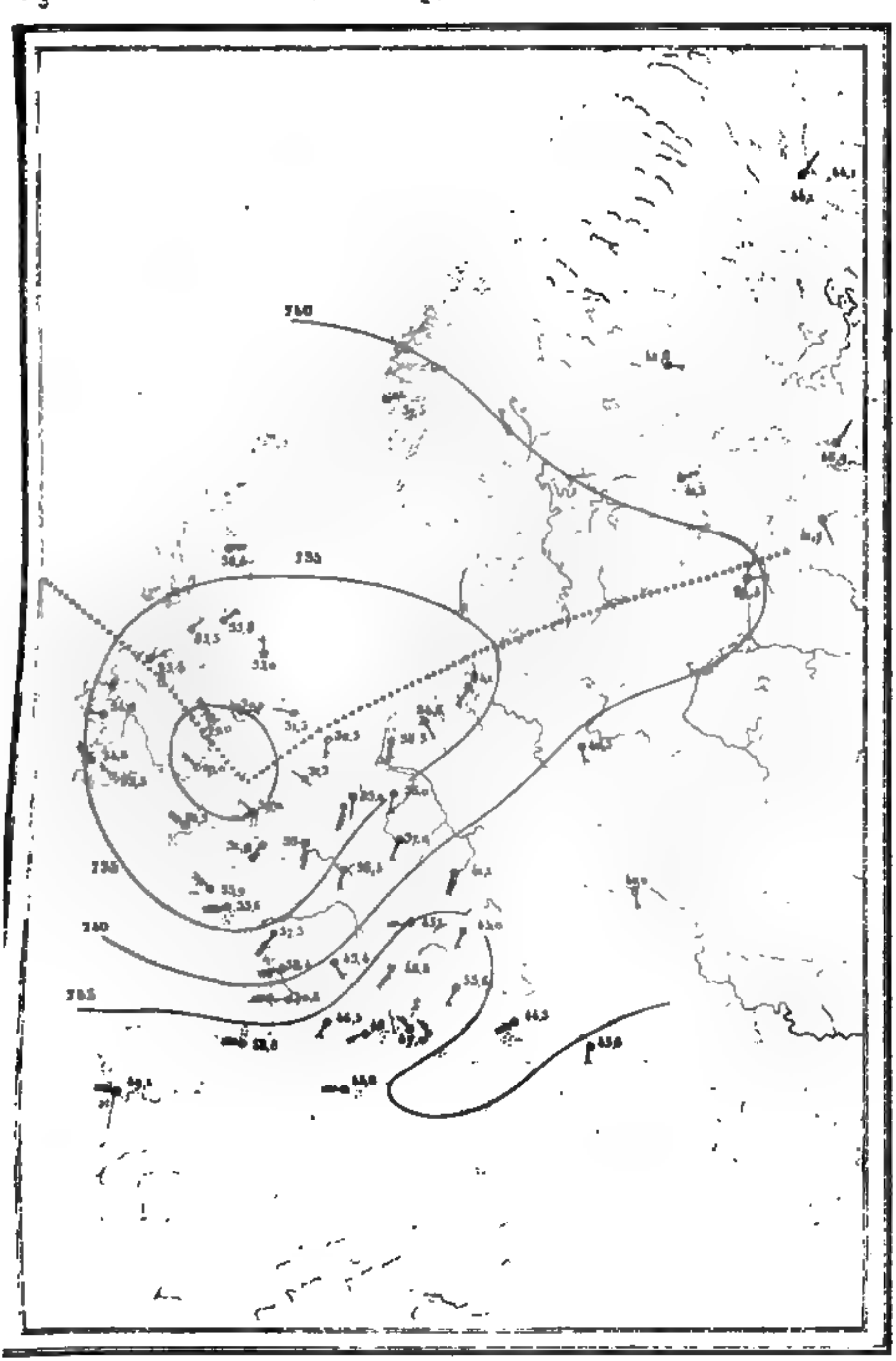
dont la volonté persistante et la haute position pouvaient seules surmonter les difficultés que devait rencontrer une entreprise de cette nature. Les passages suivants sont extraits d'une réponse de M. Le Verrier à M. Matteuci, insérée dans le tome LX, page 1317, des comptes rendus de l'Académie des sciences.

« On n'a pas oublié l'ouragan, qui, le 14 novembre 1854, « causa de si nombreux sinistres dans la mer Noire et amena la « perte du vaisseau *le Henri IV*. Le même jour, ou à un jour « d'intervalle suivant les localités, des coups de vent éclatèrent « dans l'Ouest de l'Europe, sur l'Autriche et sur l'Algérie.

« Le phénomène semblait donc s'être étendu sur une im- « mense surface. Cette circonstance remarquable attira l'atten- « tion de notre illustre confrère, M. le maréchal Vaillant, qui « voulut bien m'écrire en m'invitant à entreprendre l'étude des « conditions dans lesquelles s'était produit le phénomène et en « nous assurant de son concours.

« Pour nous mettre en mesure de répondre aux intentions « de monsieur le maréchal, j'adressai une circulaire aux astro- « nomes et aux météorologistes de tous les pays, en les priant « de me transmettre les renseignements qu'ils auraient pu re- « cueillir sur l'état de l'atmosphère pendant les journées des 12, « 13, 14, 15 et 16 novembre 1854. En réponse à cette circu- « laire, l'Observatoire reçut plus de 250 envois de documents.

« Le 16 février 1855, j'eus l'honneur de soumettre à « S. M. l'Empereur le projet d'un vaste réseau de météorologie « destiné à avertir les marins de l'arrivée des tempêtes. Ce pro- « jet, très-complet, reçut la haute approbation de Sa Majesté, « et dès le lendemain, 17 février, nous fûmes, M. de Vougy, « directeur général des lignes télégraphiques et moi, autorisés « à entreprendre et à poursuivre l'organisation projetée. « Pro- « posez avec assurance, » est-il dit dans la lettre émanée du ca- « binet de l'Empereur, lettre que nous pouvons citer, parce « que c'est un document authentique et honorable pour tous


760
755
755
760
765

« dans l'histoire de la météorologie télégraphique, « proposez « avec assurance ce que vous jugerez convenable. La question « est trop importante pour que Sa Majesté ne désire pas voir « vos efforts couronnés d'un plein succès. »

« Deux jours après, le 19 février 1855 (*Comptes rendus* « p. 439), je présentais à l'Académie, d'accord avec M. de Vougy, « une carte de l'état atmosphérique de la France, le jour même « à 10 heures du matin.

« Les bureaux de météorologie télégraphique s'organisèrent « rapidement en France... L'organisation du réseau français « était terminée en 1856, et nous en entretenions l'Académie « dans la séance du lundi 2 juin de cette même année. Nous « ajoutions que nous étions en négociation avec les pays voisins « pour obtenir d'eux qu'ils voulussent bien se relier à notre « réseau pour l'étendre et le compléter. En 1857, nous rece- « vions des observations de Bruxelles, Genève, Madrid, Rome, « Turin, etc. »

Le passage suivant d'une lettre, datée du 4 avril 1860, écrite par M. Le Verrier à M. Airy, directeur de l'observatoire royal de Greenwich, et inséré dans la même réponse (*Comptes rendus* p. 1521), montre quel était le but de la nouvelle organisation.

« Signaler un ouragan dès qu'il apparaîtra en un point de « l'Europe ; le suivre dans sa marche au moyen du télégraphe, « et informer en temps utile les côtes qu'il pourra visiter, tel « devra être le dernier résultat de l'organisation que nous pour- « suivons. Pour atteindre ce but, il sera nécessaire d'employer « toutes les ressources du réseau européen, et de faire conver- « ger les observations vers un centre principal d'où l'on puisse « avertir les points menacés par la progression de la tempête. « Cette dernière partie de l'entreprise est aussi de beaucoup la « plus délicate... »

Ces premières idées ont été un peu modifiées par la pratique des avertissements, et par les études auxquelles cette pratique a

donné lieu; aussi, dans un rapport fait au ministre de l'instruction publique le 1er août 1865, et publié le 15 du même mois, M. Le Verrier proclame-t-il que le service journalier des prévisions, inauguré en août 1863, doit être maintenu avec soin, en y introduisant toutes les améliorations indiquées par la pratique.

L'inservation des nouvelles cartes météorologiques au Bulletin date seulement du 11 septembre 1863; mais le Bulletin lui-même n'a été mis à la disposition du public, par voie d'abonnement, que dans les premiers jours de novembre de la même année. C'est dans la période écoulée depuis cette dernière date jusqu'au moment actuel, que nous choisirons nos exemples dont plusieurs de nos lecteurs auront pu suivre les détails sur la publication d'où ils sont extraits.

L'Observatoire impérial est en relations télégraphiques journalières avec 59 stations météorologiques, réparties sur toute la surface de l'Europe. Les observations du thermomètre, du baromètre, de l'état du ciel et des vents, faites en ces diverses stations à 8 h. du matin sont expédiées à Paris et réunies à l'Observatoire généralement avant 11 h. du matin; quelques dépêches seulement se trouvent accidentellement en retard à cause de la distance ou de difficultés survenues dans les transmissions.

Ces observations dont quelques-unes sont en langue étrangère ou faites avec des instruments dont la graduation diffère de la nôtre, sont traduites et ramenées à nos unités. Les hauteurs du baromètre sont de plus corrigées de la température et de l'élévation de chaque station au-dessus du niveau de le mer[1].

[1] Cette dernière correction présente un peu d'incertitude. Pour qu'elle fût rigoureuse, il faudrait connaître la température de la mer correspondante à la station considérée et la loi suivant laquelle varie la température entre ces deux points. Or ces données manquent au moment où la correction est opérée; aussi ne la fait-on pas d'ordinaire dans les séries d'observations publiées dans les divers recueils de la France et de l'étranger. Elle devient nécessaire à l'Observatoire par la nature même du travail exécuté sur les observations qui s'y trouvent concentrées. Ce travail consiste, en effet, à suivre jour par jour les variations du temps à la surface de l'Eu-

Les résultats traduits et corrigés sont publiés dans la première page du Bulletin international. Nous en donnons un spécimen dans la page suivante.

Ces données sont chaque matin pointées sur une carte conformément aux conventions suivantes : voir planche XI et suivantes.

En chaque station on décrit un très-petit cercle dont la circonférence est mince lorsque le ciel est beau ; quand le ciel est nuageux on marque un point noir au centre du cerle ; si le ciel est couvert on épaissit la circonférence du cercle de manière à ne laisser qu'un point blanc en son centre ; s'il pleut, le cercle est entièrement noir.

A partir du cercle, on mène une ligne dans la direction d'où vient le vent et on garnit l'un des côtés de cette ligne d'un nombre de barbes croissant avec la force du vent, depuis zéro correspondant à un vent très-faible, jusqu'à 6 correspondant à un vent violent.

A côté du même cercle on inscrit la pression barométrique observée, en en supprimant le premier chiffre 7, pour ne pas surcharger la carte.

L'état de la mer est figuré par un groupe de points dont le

rope, et l'élément le plus important qu'on y emploie est la répartition des pressions barométriques entre les stations et les changements qui s'opèrent successivement dans cette répartition. Les inégalités provenant des différences d'altitude compliqueraient sans profit l'étude et accroîtraient ses difficultés, déjà très-grandes. Divers météorologistes très-autorisés ont, il est vrai, proposé de n'envisager que les variations de pression d'un jour à l'autre. Ces variations ont une grande importance, mais elles ne suffisent pas; il faut y joindre les pressions elles-mêmes et leur changement d'un lieu à l'autre. Remarquons d'ailleurs que la correction usitée au bulletin consiste à ajouter à la hauteur du baromètre une quantité constante pour chaque station, et calculée d'après les températures moyennes. L'erreur principale est ainsi corrigée; celle qui reste est inévitable, et se retrouve toujours, quel que soit le système de comparaison que l'on adopte. Si l'on veut revenir aux hauteurs barométriques réellement observées, il suffit de retrancher de chacune des observations publiées au bulletin la constante qui leur est propre, et qui a été publiée elle-même.

nombre augmente avec le degré d'agitation, depuis 1 qui correspond au calme, jusqu'à 9 qui correspond à une mer furieuse.

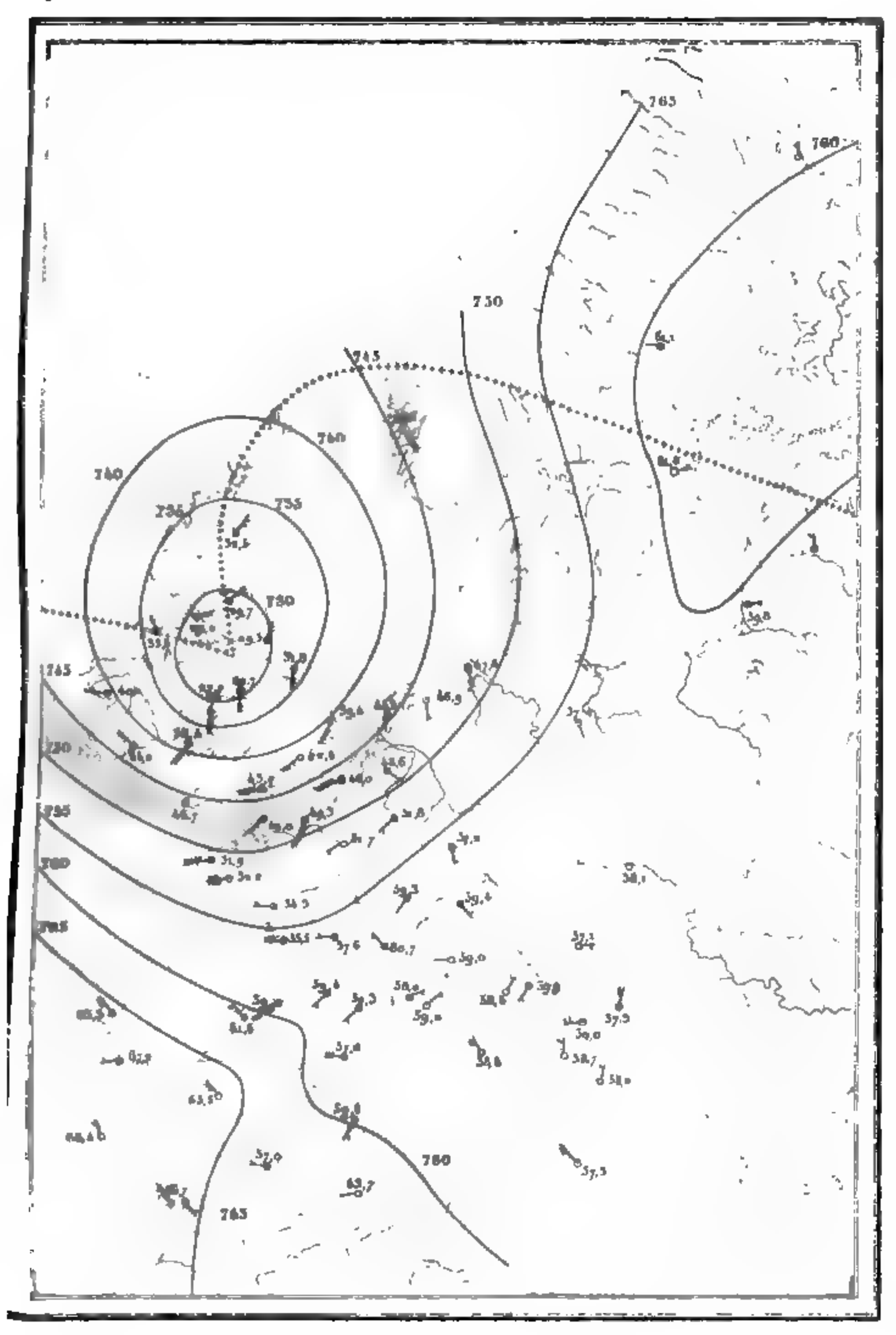
La température est l'objet d'un examen à part.

Bulletin international du 15 novembre 1864.

ÉTAT ATMOSPHÉRIQUE DE L'EUROPE A 8 HEURES, DU MATIN.

STATIONS.	BAROM.	THERM.	VENTS INFÉRIEURS	CIEL.	MER.	VENTS LA VEILLE SOIR.
	Millim.	Degrés.				
Paris	756,5	7,4	S.S.O. faible.	Sombre.	»	S.O as. fort.
Strasbourg. . .	741,1	7,3	S. as. fort.	Nuageux.	»	»
Mézières. . . .	737,2	9,5	S.O. faible.	Pluvieux.	»	»
Dunkerque. . .	733,0	5,5	S. tr.-faible.	Nuageux.	Belle.	S.O. modéré.
Boulogne . . .	732,0	7,0	S.S.O. fort.	Pluvieux.	Agitée.	O.S.O. fort.
Le Havre . . .	733,9	10,0	S.S.O. tr.-fort.	Couvert.	Peu houleuse.	S.O. as. fort.
Cherbourg. . .	731,9	10,2	S.O. as. fort.	Pluie.	Peu agitée.	S.O. as. fort.
Brest	755,9	10,6	N.O. fort.	Nuageux.	Houleuse.	O.S.O. fort.
Lorient	755,6	11,8	O. coup de vent.	Pluie.	Très-grosse.	O. as. fort.
Napoléon-Vend.	737,3	9,8	S.O. fort.	Couvert, pluie.	»	»
Rochefort . . .	738,4	9,6	O. as. fort.	Pluvieux.	Grosse.	O. as. fort.
Limoges. . . .	745,4	5,0	S.E. faible.	Pluie.	»	»
Montauban. . .	746,5	8,0	S.O. faible	Couvert.	»	»
Bordeaux . . .	742,8	10,5	O. impétueux.	Pluie.	»	O. très-fort.
Montpellier. . .	747,9	8,9	S.O. faible.	Nuageux.	»	N.O. as. fort.
Cette	»	»	O.S.O. modéré.	Nuageux.	Houleuse.	»
Marseille. . . .	747,5	12,3	N.O. modéré.	Orageux.	Grosse.	N.E. modéré.
Toulon.	746,0	10,0	N.O. as. fort.	Couvert.	Très-agitée.	S.S.O. fort.
Antibes	»	»	O. fort.	Horizon nuageux.	Houleuse.	O.S.O. fort.
Avignon	»	8,8	S.E. presq. nul.	Brouillard.	»	N.E. as. fort.
Lyon	748,8	9,7	S.O. as. fort.	Nuageux.	»	»
Besançon . . .	745,1	8,7	O. as. fort.	Couvert.	»	»
Bruxelles. . . .	755,0	8,0	S. faible.	Nuageux.	»	»
Greencastle. . .	754,9	8,5	E.N.E. faible.	Nuageux.	Belle.	E.N.E.as.fort.
Penzance . . .	752,5	10,0	N.O. as. fort.	Nuageux, sombre.	Houleuse.	O.N.O. fort.
Nairn	756,7	6,7	E. as. fort.	Couvert, pluie.	Houleuse.	N E. as. fort.
Greenwich. . .	751,1	5,1	Calme.	Peu nuageux.	»	»
Porto	749,1	5,2	O. fort.	Couvert, pluie.	Agitée.	»
Barcelone . . .	745,8	13,5	O. très-fort.	Nuageux.	Houleuse.	»
Bilbao.	748,8	12,0	O. fort.	Couvert.	Très-houleuse.	»
Turin	755,6	5,5	S.O. faible.	Nuageux, brum.	»	»
Ancône	745,6	12,9	S.O. faible.	Pluvieux.	Agitée.	S.S.E. faible.
Livourne. . . .	744,5	15,5	O.S.O. fort.	Beau.	Tempête.	S. modéré.
Florence. . . .	741,2	15,0	S.O. as. fort.	Couvert.	»	»
Vienne.	740,2	7,6	S. faible.	Très-nuageux.	»	»
Berne	745,0	5,1	S.O. très-faible.	Nuageux.	»	E. presq. nul.
Leipzig	740,5	4,8	S. faible.	Pluvieux.	»	»
Le Helder. . .	755,5	5,0	S.S.O.	Nuageux.	Un peu agitée.	»
Groningue. . .	754,4	4,9	S.E. presq. nul.	Couvert.	»	»
Stockholm. . .	741,5	1,4	E.N.E. faible.	Couvert, brouill.	»	»
Hernosand. . .	742,6	0,5	E. faible.	Couvert, neige.	»	»
Haparanda. . .	744,1	—4,2	N.E. faible.	Couvert.	»	»
Skudesnoës. . .	757,5	5,2	E. as. fort.	Nuageux.	Ordinaire.	E. as. fort.
Pétersbourg . .	744,6	—0,1	S.O. faible.	Couvert.	»	»
Moscou	750,5	—1,5	Calme.	Nuageux.	»	»
Helsingfors. . .	748,9	—1,4	Calme.	Couvert.	»	»
Libau	759,5	2,5	E. faible.	Pluie.	»	»
Riga.	741,7	1,5	S.E. faible.	Couvert, brum.	»	»

Les documents étant ainsi transportés sur la carte, on trace les lignes d'égale pression barométrique en se guidant sur les



765
760
750
745
760
740
735
735
730
765
750
755
760
765
760
765

chiffres inscrits près de chaque station. Ces lignes correspondent toujours à des pressions variant de cinq en cinq millimètres à partir de la pression 760, afin de rendre les comparaisons plus faciles d'une carte à l'autre.

Nous avons reproduit dans la planche XI une portion de la carte synoptique du 15 novembre construite, conformément aux conventions précédentes, à l'aide des documents de la page 256. Plusieurs des observations d'Espagne et d'Italie n'étaient pas parvenues en temps utile à cause de l'état de l'atmosphère; le Danemark manquait également ; par contre à cause de la nature de la perturbation manifestée le 15 novembre, nous avons ajouté aux observations d'Angleterre, venues par télégraphe, d'autres observations tirées du bulletin de l'amiral Fitz-Roy.

La carte synoptique de chaque jour est insérée au Bulletin à la suite des observations qui ont servi à l'établir ; elle forme la base du travail de discussion effectué quotidiennement à l'Observatoire sur l'état présent de l'atmosphère en Europe et sur les changements qui s'y produisent ou s'y préparent. Le résumé de la situation est publié au bas de la carte, et un abrégé en est expédié par télégraphe aux ports de France et aux directeurs des divers services météorologiques de l'étranger. Cet abrégé est en outre accompagné d'appréciations sur le temps probable du lendemain, ou de ce que l'on nomme les *prévisions du temps*.

§ III. — Caractères généraux des tempêtes d'Europe.

La carte du 15 octobre 1864, reproduite planche XI, nous donne une idée assez exacte des caractères présentés d'une manière presque constante par les perturbations atmosphériques de l'Europe.

En examinant d'abord les hauteurs du baromètre, nous trouvons une baisse très-prononcée en Angleterre où la pression est descendue à 729^{mm} à Holyhead et Pembroke. Le minimum est situé dans le voisinage de Schrewsbury. Autour de ce point les pressions montent graduellement à mesure qu'on s'éloigne; la courbe 730 l'enveloppe d'un cercle presque régulier; un peu plus loin se trouve la courbe 735 notablement déformée vers le Nord-Est, sens dans lequel se propage la tourmente; encore plus loin nous rencontrons la courbe 740 qui est incomplète du côté de l'Océan où les documents faisaient défaut; enfin une ligne 745 longe le Nord de l'Espagne, traverse le Midi de la France, contourne le plateau central et le grand massif des Alpes, pénètre dans les golfes de Gênes et du Lion, traverse l'Italie centrale, le bassin du Danube et se relève sur la Russie où elle passe à l'Ouest de Moscou et très-près de Saint-Pétersbourg.

La direction des vents n'est pas moins remarquable : ils soufflent de l'E. assez fort à Skudesnöes (Norwége) et à Nairn (Écosse); du N. E. faible à Leith et Ardrossan (Écosse); du N. N. O., fort à Valentia (Irlande); du N. O., fort à Penzance (Angleterre) et à Brest; de l'O. très-fort sur les côtes Ouest de France et sur l'Espagne; du S. O. assez fort à Cherbourg; du S. S. O. très-fort au Havre et fort à Boulogne; du S. E. faible à Groningue. Le tour du compas est complet.

Tous nos lecteurs seront frappés sans doute par les analogies qui existent entre la situation de l'atmosphère le 15 octobre avec ce que nous avons dit des cyclones chapitre VIII, paragraphe 2, malgré les perturbations apportées dans le développement du phénomène par les saillies du sol. On comprend qu'il existe là un grand mouvement tournant, dont le centre marqué par le minimum barométrique est situé vers Schreswsbury.

Au centre même du mouvement le ciel est beau ou peu nuageux; mais cet état n'est pas permanent et de grandes averses

y succèdent brusquement à un ciel sans nuage. Le rayon du disque tournant s'étend à plus de 400 lieues du centre. Le vent est à son maximum d'intensité sur les côtes Ouest de France ; et généralement sur le demi-cercle méridional. S'il faiblit dans les parties centrales de la France à cause des frottements, il y conserve sa vitesse dans la région plus libre occupée par les nuages. Il est au contraire très-faible au centre du mouvement et généralement dans le demi-cercle Nord ; il est cependant assez fort de l'E. à Nairn en Écosse et à Scudesnöes en Norwége.

Le lendemain, 16 novembre, le centre de ce mouvement se trouvait transporté sur le Midi de la Suède, à 250 lieues environ de la position occupée la veille à la même heure. Son mouvement de translation a donc été de 10 ou 11 lieues à l'heure. Cette vitesse explique la faiblesse des vents d'E. dans le demi-cercle supérieur et les vents de Nairn et Scudesnöes pourraient bien être dus à ce que le tourbillon se trouvait, le 15 à 8 heures du matin, très-près du point où sa trajectoire, marquée par une suite de points croisés, devait subir un brusque changement dans sa direction. Des rebroussements de ce genre ne sont pas rares et ne sont pas une des moindres difficultés du travail de l'Observatoire, en ce que, s'ils ne sont pas prévus, ils trompent sur la route que devra suivre la tempête. Ils résultent, il est vrai, toujours d'un changement correspondant dans les vitesses de translation dont sont animées les masses d'air au milieu desquelles le mouvement tournant s'est établi, ou qui sont entraînées dans son cercle d'action ; mais il est difficile d'analyser ces vitesses dans le tourbillonnement de l'atmosphère, et par conséquent d'apprécier leurs changements, surtout si l'on considère la rapidité avec laquelle le travail des prévisions doit être effectué. Les points de repère pris en dehors du mouvement tournant sont d'un grand secours, mais ils font souvent défaut ; on en est donc réduit à l'étude minutieuse de toutes les particularités du mouvement observé. Toutes les fois que le

rebroussement se produit, prévu ou non, on peut affirmer qu'un tourbillon suit de très-près celui qui a été dérangé dans sa route.

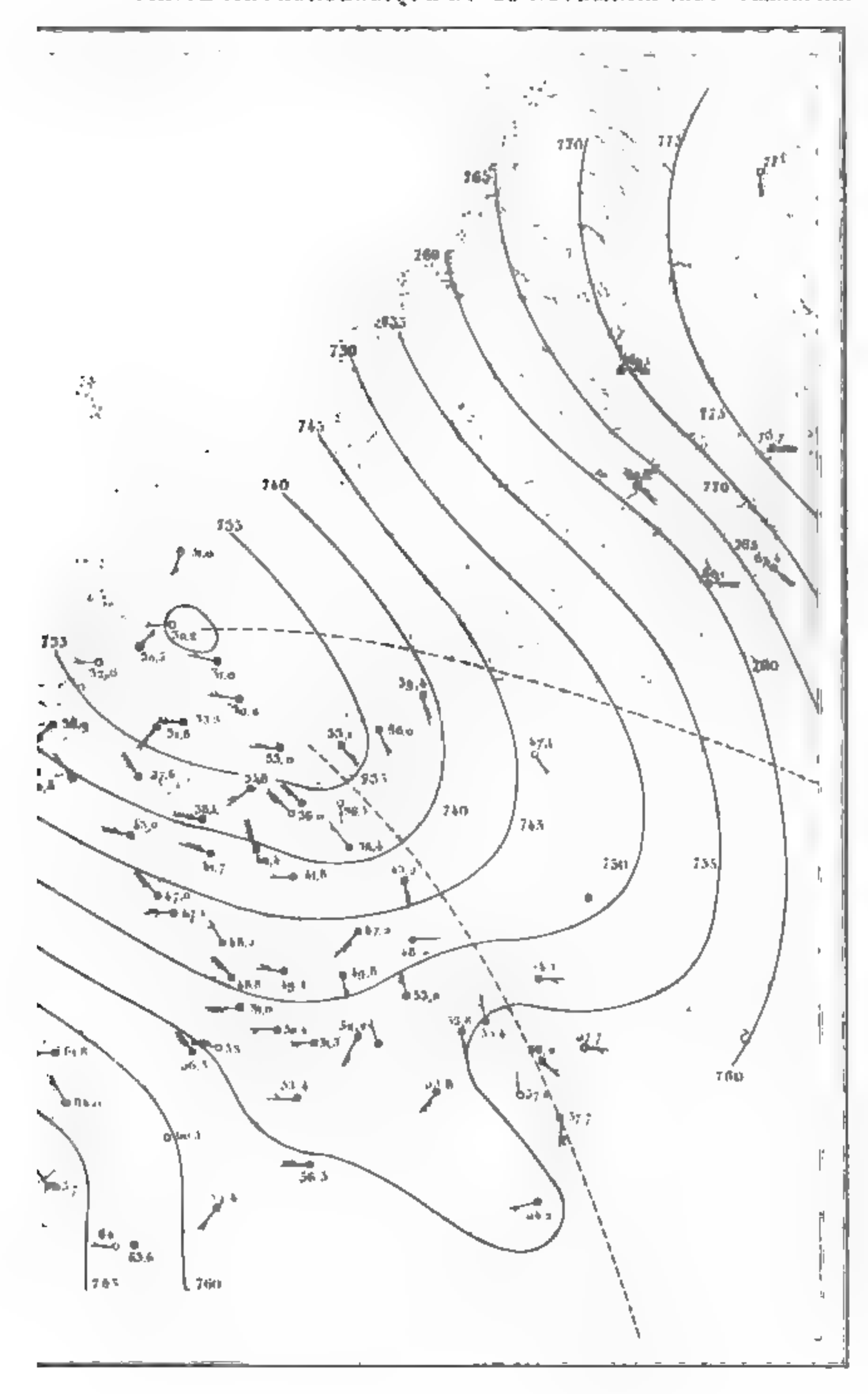
Si nous retournons en arrière, nous voyons que la tempête dont nous avons indiqué sur la carte les deux positions du 15 et du 16 novembre s'annonçait dès le 12 du même mois. Nous écrivions, en effet, dans le bulletin du 12 le résumé suivant :

« C'est aujourd'hui sur le Sud-Ouest de l'Irlande que la baisse barométrique fait les plus rapides progrès. La pression est descendue, à Valentia, de 760 à 749, tandis qu'elle a commencé de se relever sur l'Espagne, ainsi qu'à Haparanda (au fond du golfe de Bothnie).

« Les bourrasques du Nord, après avoir, pendant une assez longue série de jours, traversé l'Atlantique, vers les parages de l'Islande, pour sévir sur la Baltique et le golfe de Finlande, s'abaissent vers le Sud et menacent aujourd'hui l'Angleterre et les côtes Nord-Ouest de la France.

« Si les bourrasques du Sud ont éprouvé un semblable mouvement vers le Midi, les côtes d'Afrique subiront à leur tour l'influence du mauvais temps. »

Pendant les derniers jours du mois d'octobre et les onze premiers jours du mois de novembre, les trajectoires des tourmentes s'étaient établies sur les régions du Nord de l'Europe, et, comme il arrive souvent dans ce cas, une seconde ligne de mauvais temps s'étendait sur le Sud-Ouest et traversait l'Espagne, le Midi de la France et le bassin occidental de la Méditerranée. L'Angleterre, le Nord de la France et l'Allemagne étaient restés assez calmes pendant tout ce temps C'est dans cette situation que se préparait le changement annoncé le 12. La ligne supérieure du parcours des tourmentes s'abaissait au niveau de l'Angleterre, et pendant un intervalle de quinze ou dix-huit jours, cinq ou six tempêtes successives devaient sévir sur nos côtes.



La première tempête disparaissait à peine dans le Nord-Est, qu'une seconde arrivait sur l'Irlande à une latitude un peu plus élevée que la précédente. La planche XII représente la nature de cette seconde tempête et sa position le vendredi 18 novembre. Nous retrouvons encore une dépression circulaire dont le centre est enveloppé, comme dans le cas précédent, par une courbe continue correspondant à la pression 730 millimètres et par une série d'autres courbes correspondant à des pressions croissantes de 5 en 5 millimètres Les trois premières sont complètes, les autres sont ouvertes vers l'Océan, où l'absence de documents a empêché de les prolonger. Nous retrouvons également la même tendance des vents à tourner autour du centre de dépression barométrique, en restant généralement faibles vers le centre et prenant de la force à mesure qu'ils s'en éloignent vers le Midi jusqu'à une distance considérable.

Cette seconde tempête, refoulée vers le Nord par une troisième qui la suit de très-près, reprend bientôt sa route vers l'Est. Nous la retrouvons le 19 au Nord-Est des îles Shetland, le 20 sur la Baltique et le 21 dans les environs de Moscou.

La troisième tempête commençait dès le 19 à sévir sur les côtes Ouest, depuis San-Fernando, près Gibraltar, jusqu'à Penzance, sur la pointe Sud-Ouest de l'Angleterre. Son centre est situé le 20 à l'entrée du canal Saint-Georges; il pénètre le 21 sur la mer du Nord, lorsque se montre à l'Ouest une quatrième tourmente qui tend à marcher sur les traces des précédentes.

Déjà, cependant on voit se préparer un changement dans les directions suivies par les tempêtes précédentes à la surface de l'Europe. Les fortes pressions se reforment sur le Nord de la Russie, indiquant un affaiblissement dans la vitesse de translation de l'atmosphère dans cette région. Un ralentissement semblable se remarque bientôt dans la vitesse de propagation de la

quatrième tempête; une cinquième, survenant peu après, la rejoint et se confond presque entièrement avec elle dans la journée du 24 : leur ensemble couvre l'Angleterre, la France, l'Espagne et une partie de la Méditerranée occidentale. Elles éprouvent le 25 un mouvement de recul assez prononcé vers l'Ouest, sous l'influence des pressions barométriques toujours croissantes sur la Russie du Nord, et, dans ce mouvement rétrograde, elles se séparent; mais cette situation anormale ne peut durer longtemps et la tempête reparaît plus furieuse le lendemain 26 sur l'Angleterre et la France. Nous reproduisons dans la planche XIII la carte du 26 novembre. On peut juger par le nombre et le resserrement des courbes barométriques du degré de perturbation de l'atmosphère. De Lisbonne à Leith, la chute du baromètre est de 35 millimètres; elle atteint 47 millimètres de Pétersbourg à Leith. Les deux tempêtes se trouvent une seconde fois à peu près confondues; mais l'orientation confuse des vents est en désaccord avec l'existence d'un centre unique de rotation. Les deux mouvements se séparent définitivement à partir du 26 : l'un d'eux traverse la mer du Nord, le Sud de la Baltique et le Nord de l'Allemagne, l'autre traverse l'Europe en suivant une ligne plus méridionale, sévit le 27 sur la Méditerranée, l'Italie et l'Adriatique, et va se perdre vers la partie orientale de la Méditerranée et de l'Afrique. De semblables rencontres se produisent quelquefois dans les trombes terrestres ou marines que les poussières ou les vapeurs entraînées rendent visibles dans toute leur hauteur. Dès que ces dernières entrent mutuellement dans leur cercle d'action, elles se fondent en une seule, et c'est ce qui arrive aussi quelquefois pour les tempêtes tournantes quand elles sont très-circonscrites; mais quand leurs disques tournants sont d'une très-grande étendue, la fusion ne s'opère ni complétement ni d'une manière permanente. Le défaut de parallélisme de leurs axes contribue sans doute à produire ce résultat. La

planche XV nous fournira un exemple remarquable de cette juxtaposition de deux tourbillons distincts pendant plusieurs jours.

Une sixième et une septième tempête se montrent encore les 28 et 30 novembre sur l'Angleterre, mais elles sont peu durables. Une période de calme relatif succède à cette agitation prolongée pendant laquelle les tourmentes ont été remarquables non-seulement par leur énergie, mais encore par la rapidité de leur succession et par les troubles qui en sont résultés dans la marche de plusieurs d'entre elles. La plupart de nos tempêtes ont une marche plus régulière, mais il en est qui subissent des perturbations encore plus profondes.

Pendant toute la durée de la mauvaise saison, les périodes de calme et d'agitation se sont ainsi succédé sur la France et l'Angleterre. Mais en remontant à de plus hautes latitudes, on voit que ces alternatives sont dues, non à la disparition temporaire des mouvements tournants, mais à leur passage plus ou moins près du pôle.

Les tempêtes de l'automne et de l'hiver de l'année 1863-1864 ont offert les mêmes caractères. Dans une note que M. Le Verrier voulut bien présenter à l'Institut, le 12 octobre, nous annoncions[1] que, depuis notre communication du 17 août, on pouvait compter jusqu'à six tempêtes successives et distinctes, séparées par un intervalle de quelques jours d'un calme plus ou moins complet. « Toutes ces tempêtes, disions-nous, ont présenté des caractères communs dans leur mode d'apparition et dans leur marche. Nous voyons leurs premiers symptômes se manifester plusieurs jours à l'avance sur les côtes occidentales de l'Europe, par l'inflexion des courbes d'égale pression barométrique; puis le vent monte plus ou moins rapidement sur les côtes Nord-Ouest de France et d'Angleterre, en affectant une

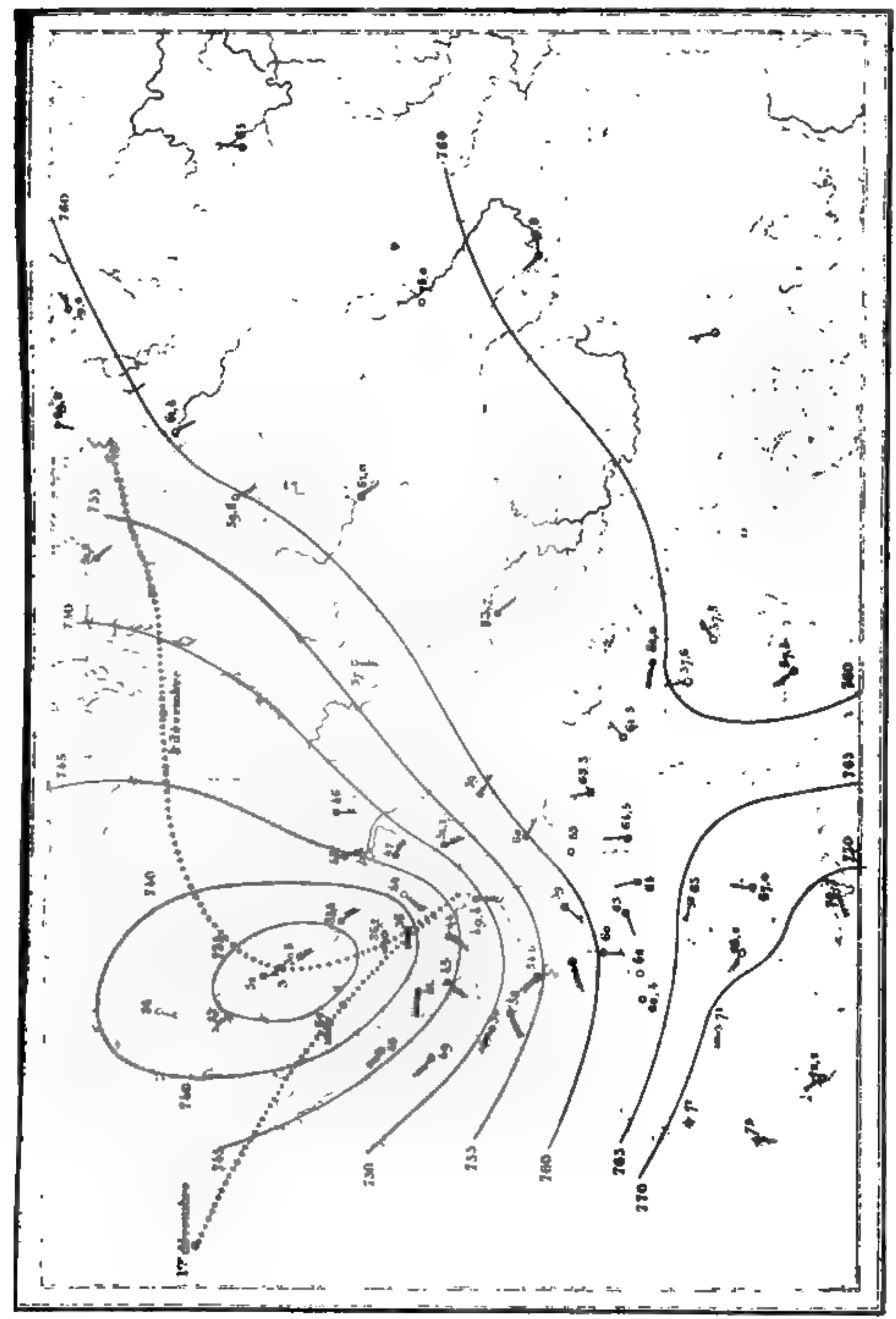
[1] *Sur les tempêtes de l'équinoxe;* note de M. Marié Davy, présentée par M. Le Verrier, *Comptes rendus* du 12 octobre 1863, t. LVII, p. 640.

tendance très-marquée à tourner autour d'un centre de dépression qui forme le centre de la tempête. Le centre lui-même se déplace, tantôt d'une manière régulière et progressive de l'Ouest à l'Est, en s'élevant d'abord vers le Nord pour redescendre ensuite vers le Sud, après avoir franchi l'Angleterre; tantôt, au contraire, avec quelques hésitations qui semblent le ramener momentanément en arrière.

« L'étude de ces perturbations offre un grand intérêt, soit au point de vue purement scientifique, soit au point de vue des probabilités qu'on en peut retirer, relativement aux points menacés par une tempête qui se prépare ou qui a déjà commencé à sévir. Cette étude est régulièrement suivie à l'Observatoire impérial au moyen de nos cartes; mais jusqu'à présent ces cartes étaient restées manuscrites : nous avons cru faire une chose utile aux météorologistes en les insérant dans le bulletin quotidien de l'Observatoire. C'est le 16 septembre que notre publication régulière a commencé; une nouvelle tempête nous semblait se préparer sur l'Océan et nous voulions qu'on pût la suivre dès l'apparition de ses premiers indices. »

La tempête s'avança progressivement les jours suivants, et le 19, le centre du tourbillon pénétrait sur l'Angleterre. Ce tourbillon suivit son cours les 20, 21, 22, 23, 24 et 25, avec quelques irrégularités dans sa marche. Un second lui succédait le 27; un troisième le 29, ce dernier d'une grande énergie.

Parmi les nombreux exemples fournis par nos cartes, nous choisirons seulement la tempête des premiers jours de décembre. La planche XIV nous donne sa position le 3, à huit heures du matin; la ligne formée de points croisés indique sa route à la surface de l'Europe; les gros points noirs marquent la position du centre du mouvement pour chaque jour du 1[er] au 4. La comparaison des phénomènes observés sur nos côtes pendant la course du météore nous fournira d'utiles renseignements sur la distance à laquelle peut se faire sentir l'in-



fluence des grands mouvements tournants et sur les signes qui précèdent leur arrivée. Cette tempête a été pour nous, comme les précédentes, l'objet d'une note présentée à l'Institut par M. Le Verrier.

« Dès le 27 novembre[1], l'aspect général des courbes d'égale pression nous inspirait des doutes sur la conservation du calme qui régnait assez généralement sur nos côtes. Cette continuation, toutefois, se maintint jusque dans la nuit du 30 novembre au 1er décembre, avec des modifications peu importantes au premier abord, mais acquérant un grand intérêt par un examen plus attentif.

« Le 1er décembre, la carte météorologique construite au moyen des observations faites à 8 heures du matin et télégraphiées à Paris, accuse nettement l'arrivée d'un tourbillon sur l'Irlande. Les documents postérieurs semblent nous permettre de placer le centre de ce tourbillon, pour 8 heures du matin, à 50 ou 60 lieues des côtes Nord-Ouest de l'Irlande.

« Le 2, à 8 heures du matin, nous trouvons ce centre dans les environs de Shrewsbury, au Sud de Liverpool. Le tourbillon, au lieu de suivre sa marche habituelle vers l'Est, avait donc été refoulé vers le Sud. Le baromètre, à Paris, descendait avec une rapidité extrême et atteignait 731 millimètres vers 1 heure : à ce moment la tempête avait acquis sur Paris une extrême violence. Deux fois déjà, dans la première quinzaine de novembre, un tourbillon avait traversé presque du Nord au Sud l'Angleterre et la France, et tout faisait craindre qu'il en fût une troisième fois ainsi, lorsqu'à partir d'une heure le baromètre se mit à remonter avec autant de rapidité qu'il était descendu. La tempête rebroussait chemin vers le Nord. L'ébranlement vers le Sud ne devait toutefois pas s'arrêter complétement, et dans la nuit du 3 au 4 un vent violent s'élevait sur les golfes

[1] *Sur la tempête des 2 et 3 décembre;* note de M. Marié Davy, présentée par M. Le Verrier, *Comptes rendus* du 7 décembre 1863, t. LVII, p. 946.

du Lion et de Gênes et s'étendait jusqu'à l'Adriatique Nord.....

« Le 3 décembre, Marseille recevait avis que le *Charles-Martel*, vapeur français, parti de New-York le 21 octobre, en destination de Marseille, a sombré à la suite de forts coups de vent essuyés les 26 et 27 octobre. L'équipage a abandonné le navire le 29 et a été recueilli par le navire *Saint-Georges*, allant à Buenos-Ayres. Le *Charles-Martel* a été sans doute atteint par le tourbillon qu'il n'aura pu éviter. »

Depuis longtemps, nous tournions nos regards vers l'Océan, d'où nous voyions arriver toutes nos tempêtes; et dans la note déjà citée [1], nous exprimions le vœu qu'il nous fût permis d'y poursuivre nos études. « L'incontestable utilité que ce genre de travail peut présenter pour la météorologie nous fait vivement désirer, disions-nous, de l'étendre sur une plus large base. Si nos cartes peuvent nous faire pressentir une tempête et nous permettre de la suivre dans sa course à travers l'Europe, elles ne nous indiquent rien ou presque rien sur leur lieu d'origine et sur leur mode de formation; et cependant, c'est là un des éléments essentiels, non-seulement de la science, mais de ses applications. Nous attacherions la plus grande importance à la construction de cartes journalières s'étendant à tout l'hémisphère Nord, fallût-il une année pour réunir les éléments de chacune d'elles. Au milieu de l'incessante mobilité des phénomènes atmosphériques, il est très-certainement de grandes lois générales qu'il importe d'en dégager, et qu'on peut aller chercher dans les années antérieures. » Ce vœu a été réalisé par M. le directeur de l'Observatoire impérial, grâce au concours empressé de la marine (*voir* chap. XIV).

Les résultats acquis dès le début de notre nouveau travail, joints aux renseignements précédents sur l'ouragan des 2 3 et 4 décembre, montrent que cet ouragan est évidemment le même que celui qui a fait périr le *Charles-Martel;* ils nous

[1] *Comptes rendus* du 12 octobre 1863, t. LVII, p. 645.

éclairent dès lors sur les mouvements du baromètre observés sur nos côtes avant l'arrivée de la tempête. Les routes parcourues par le navire et par le tourbillon se sont croisées, du 26 au 27, à 300 lieues environ dans l'Ouest des Açores, à cinq ou six cents lieues dans l'Ouest des côtes du Portugal, le tourbillon allant au Nord-Est vers le Nord de l'Irlande, le *Charles-Martel* allant à l'Est vers Gibraltar. Or, dès le 26 [1], le vent était devenu fort de l'E. à San-Fernando, sur la pointe Sud de l'Espagne, et le baromètre commençait à y baisser d'une manière sensible, tandis qu'il restait très-élevé sur l'Europe centrale. La baisse barométrique fit de nouveaux progrès les 27 et 28 sur la pointe Sud-Est de l'Espagne, surtout si l'on tient compte de ce fait bien connu que les oscillations barométriques y sont beaucoup moins fortes qu'à des latitudes plus élevées. De plus, la baisse avait gagné le golfe de Gascogne, où la pression était descendue, le 28, de 767^{mm}4 à 764^{mm}5 depuis la veille. A Brest, à Penzance et Valentia (Irlande), le baromètre n'avait pas encore bougé d'une manière sensible ; il était même remonté à Greencastle, au Nord de l'Irlande. Pendant cet intervalle, les vents prenaient de la force du S. ou S. O. sur l'Irlande.

Le 29, qui se trouvait le dimanche, nous n'avons pas d'observations anglaises, sauf celle de l'observatoire de Greenwich ; mais le vent fraîchissait [2] sur le golfe de Gascogne, où le baromètre était descendu à 760 millimètres, par une baisse de 7^{mm}4 en deux jours. La baisse commençait aussi à devenir sensible à Brest.

Le 30, le baromètre a remonté sur l'Espagne ; il a remonté un peu aussi sur le golfe de Gascogne, tandis qu'il a faibli de 5 millimètres à Brest.

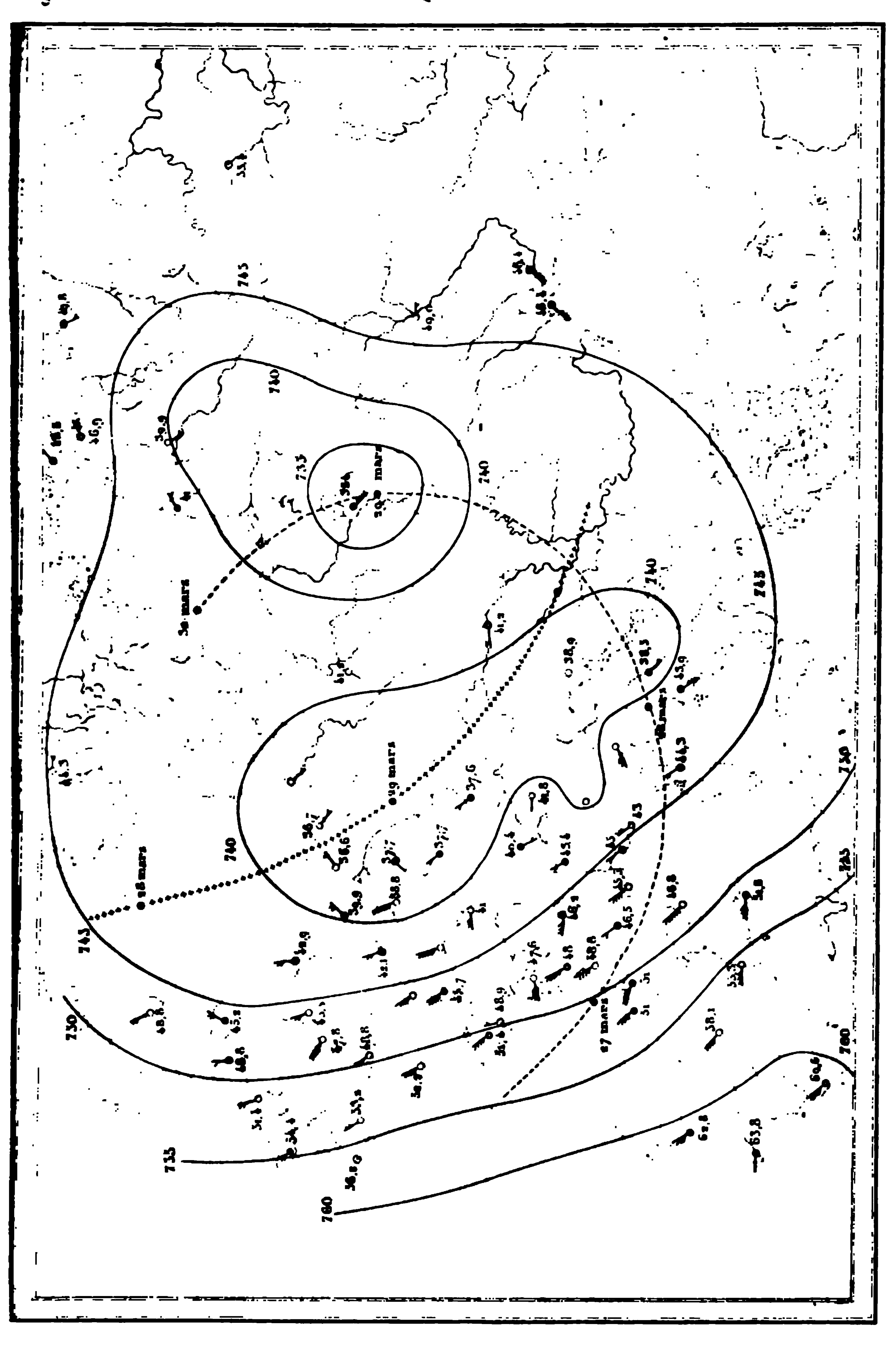
Cette dépression du baromètre, d'abord sensible sur la pointe

[1] *Comptes rendus* du 7 décembre 1863, t. LVII, p. 948.

[2] En terme de marine le mot *fraîchir*, appliqué au vent, veut dire monter, prendre de la force.

Sud de l'Espagne, que nous voyons ensuite se propager lentement vers le Nord, suivie par une hausse, nous paraissait être, pour ainsi dire, l'ombre projetée sur nos côtes par le tourbillon qui remontait obliquement dans une direction du S. O. au N. E. La vérification de cette conjecture, par les faits eux-mêmes et par les renseignements venus ultérieurement, a réalisé un progrès marqué dans nos études en affermissant les bases de nos appréciations. La tourmente s'inclina vers l'Est dans la journée du 30, puis vers le Sud-Est du 1er au 2 décembre. Le 2, à 8 heures du matin, son centre se trouvait près de Schrewsbury, se dirigeant sur le Nord de la France; après avoir pénétré un peu à l'Est de Paris, il rebroussa chemin brusquement sous l'influence d'une autre tempête suivant de très-près la première. Le 3, à 8 heures du matin, il était revenu près d'York; le 4, il s'était transporté au Nord de Copenhague; il se perdait ensuite dans le Nord de la Russie. Une série de tourmentes se succédèrent presque sans interruption sur l'Europe jusqu'au 13. Après un calme peu durable, une nouvelle tempête sévit du 16 ou 18; une autre survint le 21. Le 23, trois tourbillons se développaient à la fois : l'un sur la mer du Nord, l'autre sur le Nord de la Russie, le troisième sur la Méditerranée, de Naples à Barcelone.

Peu de temps après notre arrivée à l'Observatoire, voulant nous éclairer sur la meilleure manière de tirer parti pour la science des documents réunis et publiés par le bulletin depuis plusieurs années, nous avions construit les cartes synoptiques de chacun des jours de novembre et décembre 1862, et de janvier 1863. Ces cartes, exécutées d'après le système ultérieurement adopté pour le bulletin, forment un atlas qui est encore manuscrit; les tempêtes s'y présentent avec des caractères semblables à ceux fournis par les hivers de 1863-64 et de 1864-65, comme aussi à ceux des tempêtes de l'hiver actuel. La ligne de parcours des mauvais temps s'était cependant généralement



maintenue à de plus hautes latitudes, les observations recueillies étaient peu nombreuses sur la Suède et la Norwége, et les disques tournants des tempêtes ne s'étaient montrés dans leur entier, sur les cartes, que d'une manière accidentelle à la surface de la Russie et de l'Allemagne. La nature de nos tourmentes pouvait donc paraître encore incertaine; mais tous les doutes ne devaient pas tarder à disparaître pour nous, par l'examen des bourrasques du printemps suivant (1863). C'est en nous appuyant sur les résultats de ces études que nous avons pu commencer en août 1863 le système des prévisions à courte échéance dont nous indiquons les principes dans le chapitre XVI.

Les tempêtes ou bourrasques du printemps, telles qu'elles nous apparaissent à la surface de l'Europe n'ont, en effet, rien qui les distingue des tourmentes d'automne ou d'hiver. Elles sont tout aussi fréquentes et souvent aussi graves; elles ont seulement un peu plus de tendance à s'acheminer vers le Sud en traversant l'Allemagne ou la France. Ce dernier effet est une conséquence du balancement des températures entre les deux hémisphères, ainsi que nous l'avons expliqué précédemment. Au commencement de la saison chaude, l'atmosphère se dilate par la chaleur à la surface de notre hémisphère; il se contracte, au contraire, à la surface de l'hémisphère opposé. Les courants équatoriaux doivent donc avoir moins d'activité et pénétrer moins haut vers le pôle Boréal; les courants de retour prennent, au contraire, une étendue plus grande. Des changements correspondants se produisent dans les trajectoires des mouvements tournants.

Cette uniformité dans la nature du phénomène nous dispense de multiplier nos exemples. Nous citerons cependant encore la tempête du 29 mars 1864, à cause des particularités remarquables qu'elle présente.

La planche XV nous montre, en effet, deux centres de dépression bien distincts, l'un situé un peu au Nord de Francfort,

l'autre un peu au Sud-Est de Varsovie : ce sont les centres de deux tourbillons voisins dont la marche, suivie à la surface de l'Europe, rend manifeste l'influence que ces météores peuvent exercer l'un sur l'autre. Leurs trajectoires sont marquées, pour l'un, par une ligne ponctuée, pour l'autre, par une série de points croisés. Leurs diverses positions, à 8 heures du matin, sont indiquées par de gros points noirs avec la date à côté.

Le 27 mars, le centre du premier tourbillon se trouvait à trente ou quarante lieues dans l'Ouest de Bordeaux, paraissant devoir franchir l'isthme Pyrénéen pour se rendre dans la Méditerranée. Cet isthme, les golfes du Lion et de Gènes sont rapidement franchis, et le lendemain, 28 mars, le centre du mouvement tournant se trouve transporté près du lac Bolsena, en Italie. Le lendemain 29, il est près de Varsovie, et le 30 sur la Baltique, près des îles Gottland. Jamais semblable trajectoire ne s'était montrée sur les quatorze cents cartes construites depuis 1862 à l'Observatoire impérial.

Dès le 28, un second tourbillon plus intense apparaît dans la mer du Nord. Son apparition subite montre qu'il vient du Nord, et que, parvenu dans sa période descendante, il doit traverser l'Allemagne. Le 29 mars, en effet, il avait envahi l'Allemagne et s'irradiait sur l'Angleterre, la France et l'Espagne; son centre pénétrait le 30 sur la Hongrie. Le premier tourbillon, le plus faible, avait évidemment tourné autour de l'autre; ce dernier, toutefois, n'avait pas complétement échappé à l'action de son voisin, ainsi qu'il résulte de la forme de sa trajectoire, dont la concavité sur l'Europe est exceptionnellement dirigée vers le Nord-Est.

La même carte du 29 témoigne nettement de l'influence exercée par la vitesse de translation d'un tourbillon, sur la force des vents en son pourtour. Le 29 mars, le tourbillon principal marche vers le S. S. E. C'est sur son bord occidental que les

vitesses de translation et de rotation s'ajoutent : l'Angleterre, la France et l'Espagne sont traversées par des vents généralement forts et même violents du N. N. O.

Avant d'appliquer les faits qui précèdent à la prévision du temps, nous allons rechercher dans les chapitres suivants l'origine des tempêtes.

CHAPITRE X

LES NUAGES

La vapeur d'eau, par les transformations qu'elle subit, est un des principaux agents secondaires de l'incessante mobilité du temps. L'air ne peut renfermer qu'une quantité de vapeur déterminée par sa température et croissante avec elle. Lorsqu'il en est saturé, le plus léger refroidissement détermine la formation de rosée, de givre ou de gelée blanche, de brouillard, de nuages, de pluie ou neige, de grésil ou de grêle.

L'air le plus sec en apparence peut, sans addition de vapeur et par le seul fait du refroidissement, être amené à son point de saturation appelé aussi *point de rosée*, le dépasser même, et produire l'un des effets énumérés plus haut. Par contre, l'air le plus humide peut, sans perte de vapeur, devenir sec relativement lorsque sa température s'élève, parce que sa capacité pour la vapeur augmente avec son degré de chaleur.

Il faut donc distinguer avec soin deux choses bien différentes : la *quantité absolue* de vapeur contenue dans l'air, et le degré *d'humidité relative* ou *état hygrométrique*, qui est le rapport de la quantité de vapeur existant dans un volume donné d'air à la quantité que ce volume contiendrait s'il était saturé à la même température.

§ 1er. — Humidité, ses variations diurnes et annuelles.

L'humidité de l'atmosphère en un lieu est une donnée d'une grande importance par elle-même, et aussi par les inductions qu'on en peut tirer sur les probabilités du temps. Ces inductions doivent avoir pour base la connaissance des variations régulières et normales de l'humidité aux lieux dont on s'occupe, les déviations à l'état normal ayant seul de l'importance au point de vue des prévisions. Nous commencerons donc par l'examen de cet état normal. Malheureusement l'humidité a été moins étudiée que la température et la pression, parce que les hygromètres sont des instruments moins fidèles que le thermomètre et le baromètre, ou parce qu'ils sont moins familiers. Neuber à Apenrade, Kæmtz à Halle, Kupffer à Pétersbourg, ont cependant exécuté des séries d'observations hygrométriques à des heures assez rapprochées et pendant une période de temps assez longue pour donner une idée exacte de la marche du phénomène.

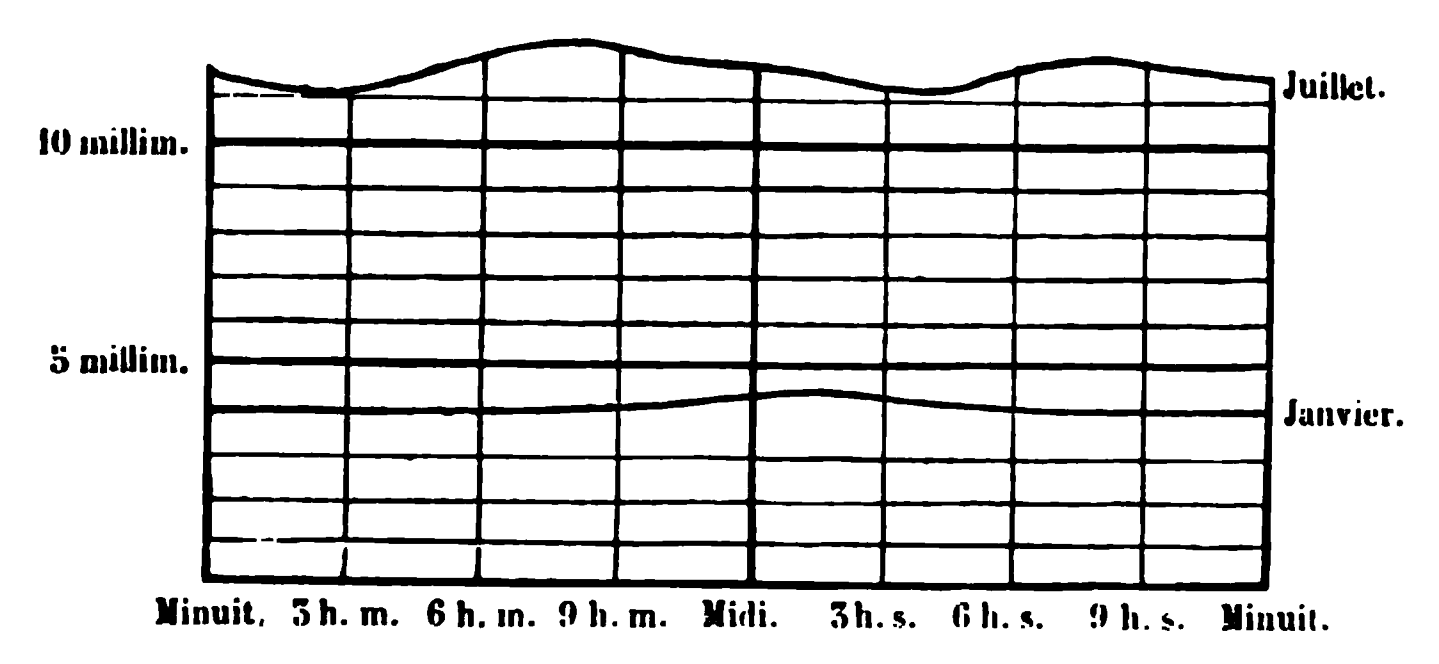


Fig. 47 — Moyennes variations diurnes de la tension de la vapeur à Halle.

Nous reproduisons dans la figure 47 les variations moyennes de la tension de la vapeur d'eau à Halle aux diverses heures du

jour pendant les mois de juillet et janvier; ces tensions sont à très-peu près proportionnelles aux quantités de vapeur d'eau contenues dans un mètre cube d'air. En juillet, nous voyons un premier minimum se produire vers trois heures du matin, puis la tension monte jusque vers neuf heures où elle atteint un premier maximum; elle décroît ensuite jusque vers quatre heures du soir; elle atteint enfin un second maximum entre huit et neuf heures. La variation est beaucoup plus faible en janvier, et on n'y trouve qu'un seul maximum entre une heure et deux heures du soir, encore est-il très-peu marqué.

En général, la tension moyenne de la vapeur varie peu avec les heures du jour en un même lieu. Certaines circonstances peuvent cependant changer les heures et l'amplitude de son oscillation. La figure 48 résume les observations faites par

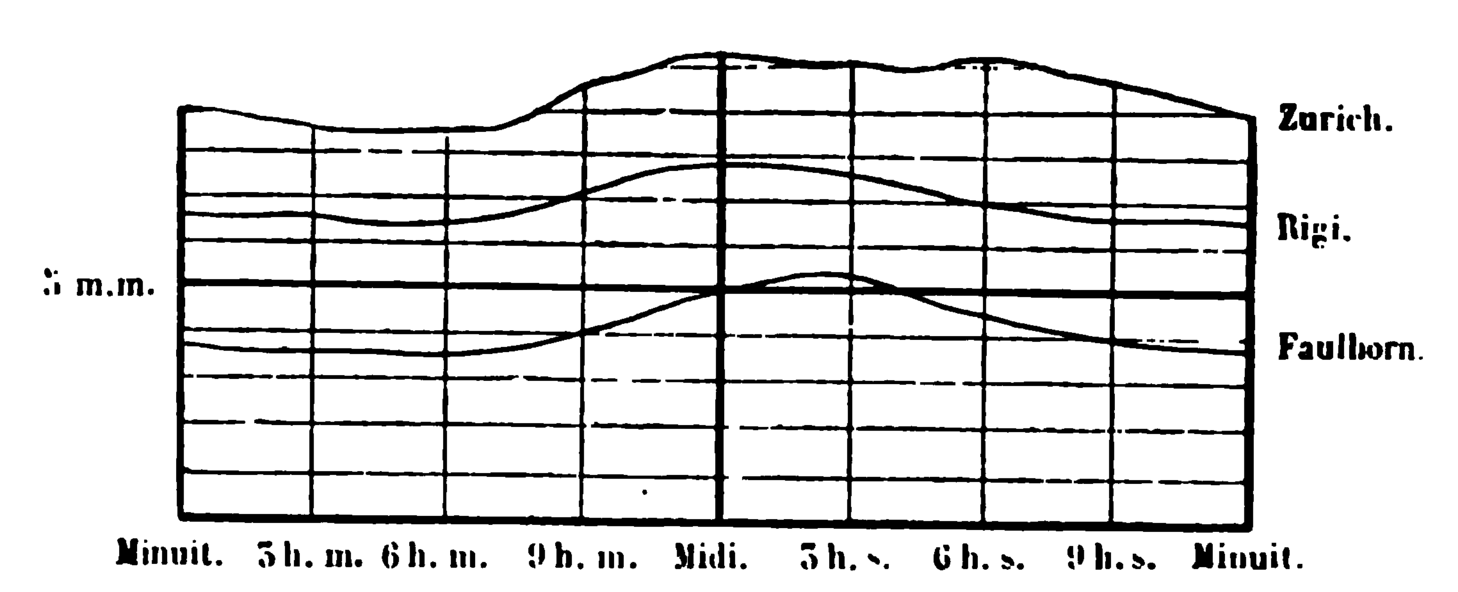


Fig. 48. — Variations diurnes de la tension de la vapeur à Zurich, sur le Rigi et sur le Faulhorn.

M. Horner à Zurich, et par M. Kæmtz sur le Rigi à une hauteur de 1810 mètres au-dessus du niveau de la mer, et sur le Faulhorn à une hauteur de 2672 mètres. A Zurich, on retrouve encore un second minimum à quatre heures du soir, mais il est très-faible; il disparaît complétement sur le Rigi et le Faulhorn.

Au milieu même des continents, le sol est toujours pourvu d'une certaine quantité d'eau dont l'évaporation est d'autant plus active que la température est plus élevée et la végétation

plus abondante. La quantité de vapeur contenue dans l'air doit donc s'accroître pendant le jour, et si l'atmosphère était complétement en repos, la vapeur augmenterait, en effet, jusqu'à ce que les progrès du refroidissement nocturne produisissent un dépôt de rosée à la surface du sol. Mais durant les heures les plus chaudes, des courants ascendants tendent à s'établir, transportant vers les hautes régions de l'atmosphère l'air des couches inférieures et la vapeur qu'il a reçue du sol. Dans l'intérieur des terres, l'air qui remplace le premier vient de régions d'ordinaire plus froides et contient moins de vapeur; il reçoit à son tour l'humidité sortie du sol, mais il en reçoit d'autant moins que son passage est plus rapide. Telle est la cause du minimum de trois heures observé à Halle; ce minimum ne se rencontre pas partout. Le voisinage des hautes montagnes favorise l'établissement des courants ascendants pendant le jour; ces courants suivent les rampes exposées au midi; ils transportent avec eux la vapeur dont ils se sont chargés dans les plaines : aussi voyons-nous l'heure du maximum de vapeur aller en retardant à mesure que l'on arrive sur de plus hauts plateaux. Dans le voisinage des mers, il s'établit aussi pendant les heures les plus chaudes des brises allant de la mer à la terre. Ces brises sont chargées de vapeur; dans ce cas encore, le minimum observé à Halle disparaît. Le soir, et surtout pendant la nuit, l'évaporation se ralentit, l'abaissement de température détermine même très-souvent un dépôt de rosée ou l'apparition des brouillards, du serein ou de la pluie : la tension de la vapeur diminue; elle diminue encore par le renversement des courants ascendants et par l'arrivée de l'air sec et froid des hautes régions à la surface du sol. L'amplitude et le sens de la variation moyennement éprouvée par la tension de la vapeur pendant la période diurne varie donc beaucoup d'un lieu à l'autre suivant la nature des localités environnantes et la direction des mouvements qui en résultent dans l'atmosphère.

Les variations du degré hygrométrique de l'air présentent plus d'uniformité que celles de la tension de la vapeur. Une nouvelle donnée intervient alors : la température de l'air. A mesure que cette température monte, la capacité de l'air pour la vapeur augmente rapidement, et si la quantité de vapeur contenue dans l'atmosphère n'augmente pas dans la même proportion, l'air semblera plus sec, son degré hygrométrique baissera. Presque partout l'état hygrométrique moyen suit dans ses variations une marche inverse à celle de la température moyenne. Cette opposition est nettement accusée dans les figures 49 et 50, relatives l'une au mois de juillet, l'autre au mois

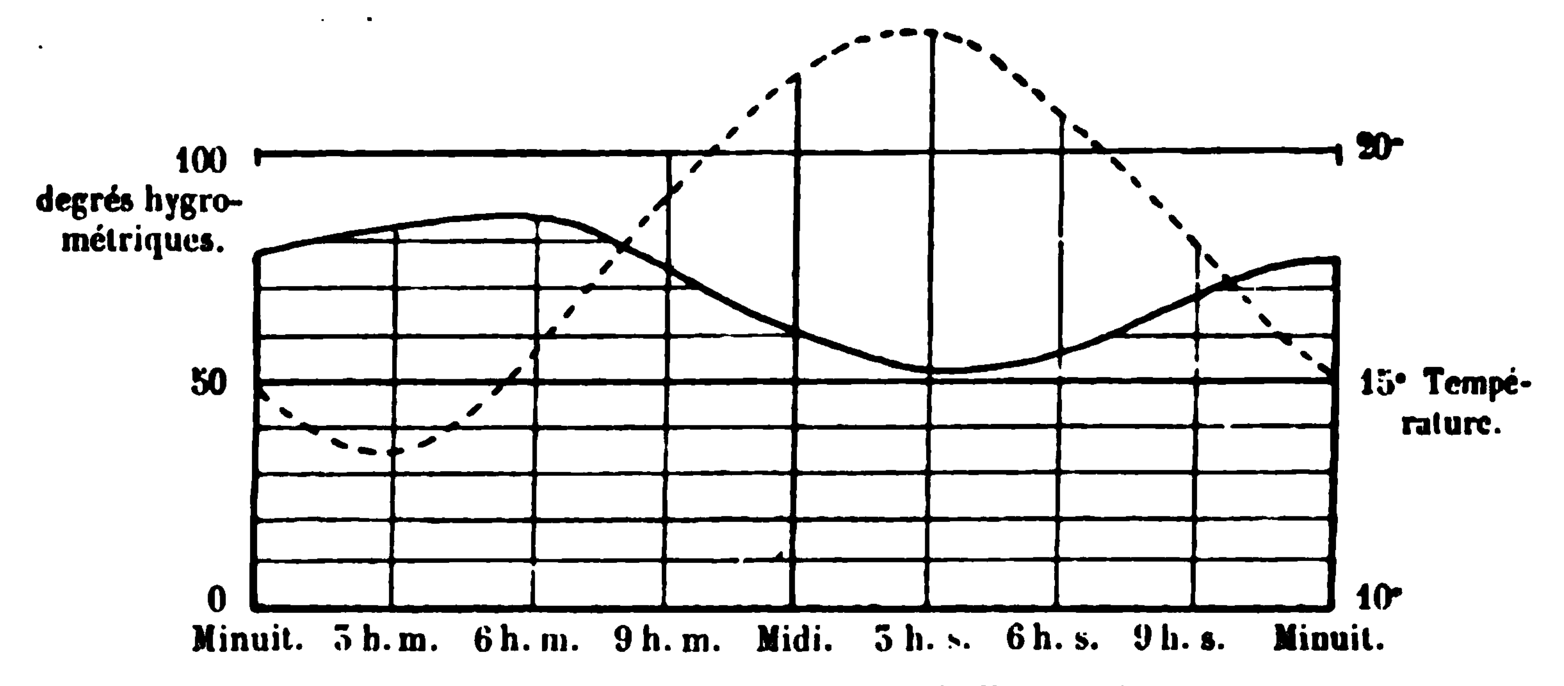


Fig. 49. — Marche comparative du thermomètre et de l'hygromètre en juillet à Halle.

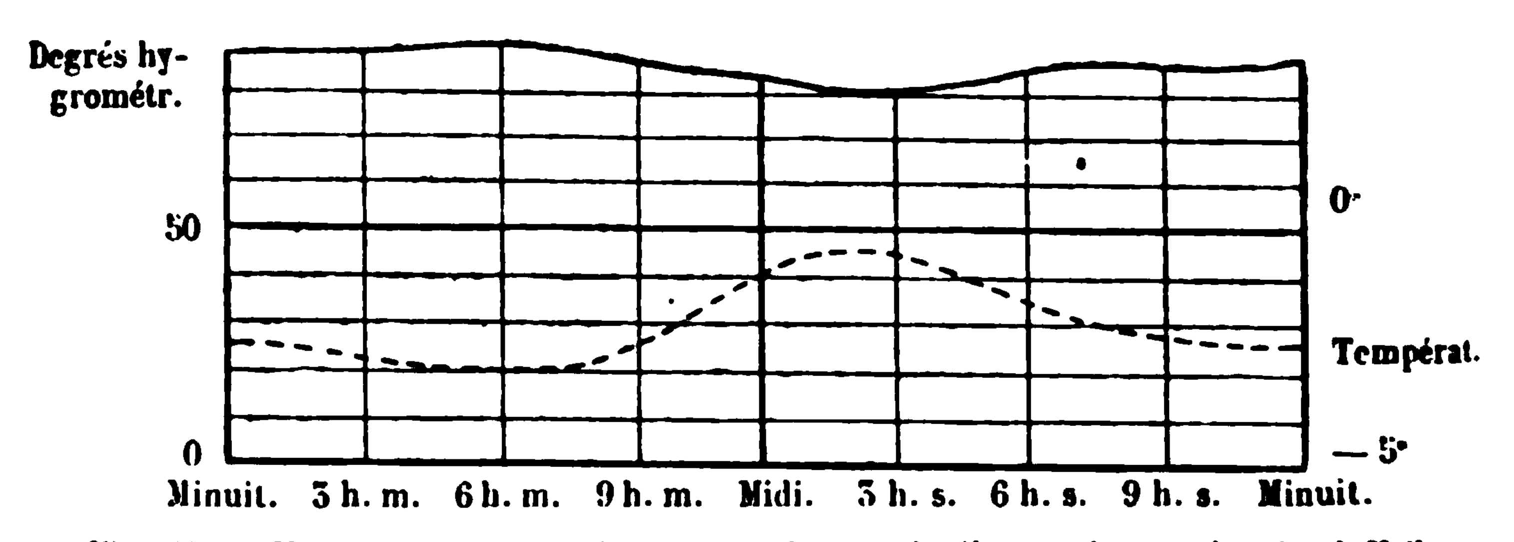


Fig. 50. — Marche comparative du thermomètre et de l'hygromètre en janvier à Halle

de janvier. Les courbes pleines et les chiffres placés à gauche se rapportent aux degrés hygrométriques comptés de 0, degré de sécheresse absolue, à 100 qui exprime la saturation ; les courbes

ponctuées et les chiffres placés à droite se rapportent au thermomètre. Nous avons construit dans la figure 51 les courbes de l'humidité relative à Zurich et sur le Faulhorn correspondant aux courbes de la figure 48.

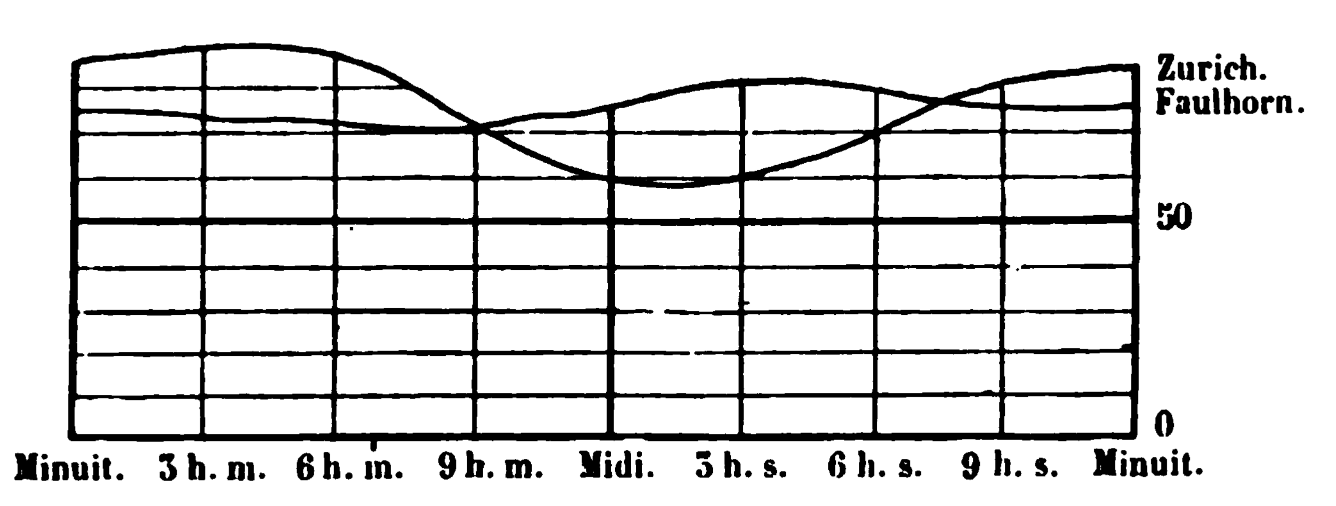


Fig. 51. — Courbes des variations des degrés hygrométriques à Zurich et sur le Faulhorn.

La variation thermométrique moyenne est assez considérable à Halle pendant le mois de juillet ; la variation du degré hygrométrique y est également très-prononcée. Le minimum de l'hygromètre y arrive un peu après le maximum thermométrique parce que les courants ascendants persistent après l'heure la plus chaude. Le matin l'hygromètre continue à monter pendant plusieurs heures après le minimum thermométrique ; mais la figure 47 nous montre que la courbe des tensions monte depuis trois heures jusqu'à sept heures du matin. L'état hygrométrique augmente le matin d'abord par l'effet du refroidissement ; plus tard il continue à croître parce que de la vapeur provenant du sol ou des plantes s'ajoute à l'air encore au repos ; plus tard encore, l'échauffement de l'atmosphère devient cause prépondérante et l'hygromètre baisse. Après le passage du maximum de température l'hygromètre se relève rapidement jusque vers dix ou onze heures du soir, puis lentement pendant le cours de la nuit.

Dans le mois de janvier la variation moyenne du thermomètre pendant la durée des vingt-quatre heures est beaucoup moindre qu'en juillet ; la variation de l'hygromètre est également moins accusée.

La courbe hygrométrique de Zurich offre beaucoup d'analogie avec celle de Halle; il en est tout autrement au Faulhorn. L'hygromètre y monte au lieu de descendre aux heures du maximum de température. C'est qu'à ces heures, le Faulhorn reçoit les vapeurs de la plaine et qu'il se trouve souvent, à son sommet, environné de nuages qui le soir ou la nuit s'abaissent vers des régions moins élevées.

On a souvent discuté sur la loi suivant laquelle varie l'humidité de l'air avec la hauteur. Des météorologistes ont admis, d'après leurs observations, qu'elle est moindre sur les hautes montagnes que dans les vallées; d'autres s'appuyant également sur des observations exactes ont admis l'opinion contraire.

Une seule chose est à peu près constante, c'est la diminution de la quantité absolue d'eau contenue, sous forme de vapeur, dans l'air à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. La figure 48 nous montre en effet que la courbe des tensions est moins élevée sur le Rigi qu'à Zurich, et sur le Faulhorn que sur le Rigi. Cette décroissance varie naturellement avec l'origine des courants qui traversent les diverses régions de l'atmosphère; mais son renversement serait tout à fait accidentel et local. Il n'en est plus ainsi de l'humidité relative qui dépend de deux termes : l'humidité absolue et la capacité de saturation de l'air. La capacité de l'air pour la vapeur décroît rapidement avec la température, ce qui tend à élever l'état hygrométrique, tandis que, la diminution de la vapeur tend au contraire à l'abaisser. Suivant que l'un ou l'autre de ces deux termes l'emportera sur son antagoniste, l'état hygrométrique sera plus bas ou plus haut. Dans la région des nuages, le degré d'humidité est évidemment plus grand qu'à la surface du sol et surtout qu'au-dessus de la région nuageuse. Cette région monte ou descend suivant les heures du jour, les saisons, les lieux et les vents régnants; la variation de l'humidité relative subit des oscillations semblables. Les ascensions sur les pics élevés ont

lieu d'ordinaire, par les beaux temps afin de jouir de la beauté du spectacle qu'on y découvre et aussi pour diminuer les dangers d'un voyage au milieu de rochers où ne serpente aucun chemin tracé. On y trouve donc souvent un air plus sec que dans la plaine; mais que l'on y séjourne assez pour être enveloppé par des brouillards formant des nuages vus de loin, et le contraire se produira. On doit aussi tenir compte d'une autre circonstance. Sur les hauts plateaux des Andes et des Cordillères, on voit les objets en corne se déformer et se tordre; c'est là un signe de grande sécheresse; mais nous remarquerons que dans le vide l'évaporation est instantanée, et qu'à la surface du globe elle se trouve ralentie par la présence de l'air; sur les hauts plateaux où l'air est très-raréfié l'évaporation doit être plus rapide que dans les plaines même avec un égal degré d'humidité.

L'oscillation annuelle des températures moyennes est accompagnée d'une oscillation inverse des degrés hygrométriques moyens au niveau du sol, et, dans nos climats, l'atmosphère paraît généralement moins humide en été qu'en hiver. Il en est tout autrement si l'on envisage non plus l'humidité relative, mais la quantité de vapeur réellement contenue dans l'air.

Nous avons réuni dans la figure 52 la courbe des températures, la courbe des tensions de la vapeur et la courbe des degrés hygrométriques, résultant des observations faites à Halle par M. Kæmtz, pour les divers mois de l'année.

La courbe des tensions de la vapeur marche sensiblement d'accord avec la courbe des températures; ces deux lignes ont leurs minimums et leurs maximums aux mêmes mois. On remarquera seulement que la première présente un renflement prononcé correspondant aux mois de septembre et d'octobre qui sont généralement les mois où les pluies sont le plus fréquentes en Europe.

Répétons que ces rapports peuvent varier dans des limites

très-étendues suivant les climats, la direction des vents dominants et la position relative des terres et des mers ; qu'ils peuvent varier même d'un lieu à l'autre d'une même région,

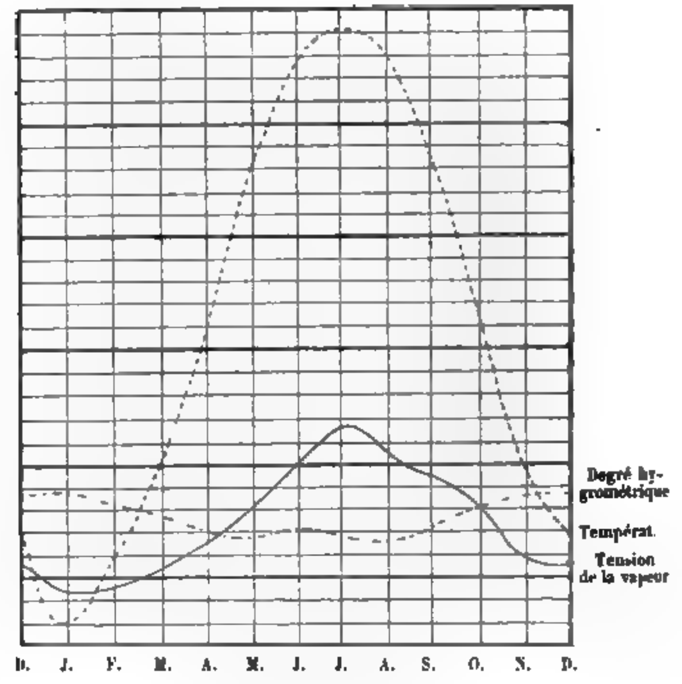


Fig. 52. — Variations annuelles de l'humidité à Halle.
—— Courbe des tensions de la vapeur d'eau.
—·—· Courbe des degrés hygrométriques.
— — — Courbe des températures.

par le seul effet des différences d'élévation au-dessus du niveau de la mer.

§ II. — Influence des vents sur l'humidité de l'air.

L'humidité relative est assez uniformément distribuée à la surface des grandes mers ; l'air y est toujours très-près du point de saturation, surtout à une certaine distance des côtes,

bien que l'eau salée ne donne pas autant de vapeur que l'eau pure à températures égales. La quantité réelle de vapeur contenue dans l'air doit donc y varier comme la température, et, d'une manière générale, elle décroît de l'équateur vers les pôles. La décroissance est assez régulière avec la latitude dans la région intertropicale, mais au delà elle se trouve inégalement répartie suivant les longitudes par l'effet des courants marins d'origine équatoriale tels que le Gulf-stream sur l'Atlantique Nord, le courant noir sur le Pacifique Nord, et par l'effet des courants de dérive d'origine polaire. Les premiers étant chauds donnent des vapeurs abondantes que l'air ne peut pas toujours contenir, de là les brouillards épais observés sur leur parcours vers le Nord, particulièrement dans l'hiver; les derniers, beaucoup plus froids, ont moins de tendance à sursaturer l'air.

Dans la région des vents variables, l'atmosphère est sans cesse traversée par des courants de directions et de températures inégales; dans un air presque saturé, les alternatives de froid et de chaleur, même quand elles sont peu prononcées, amènent inévitablement des condensations et des pluies fréquentes.

Les continents fournissent à l'atmosphère moins de vapeur que les mers, si ce n'est aux époques de pluies prolongées. L'état hygrométrique y est donc généralement moins élevé; il y varie aussi dans des limites plus étendues suivant que les vents soufflent de la mer ou de l'intérieur des terres. L'oscillation de l'hygromètre est surtout prononcée dans le voisinage des côtes, parce que les vents marins y conservent toute leur humidité. Ces vents s'en dépouillent, au contraire, peu à peu à mesure qu'ils pénètrent dans l'intérieur des continents où les pluies deviennent plus rares et l'air plus ordinairement sec. Cette règle générale se confirme dans les vastes *prairies* des États-Unis d'Amérique, au milieu des plaines de l'Orénoque, dans les steppes de la Russie, dans les déserts de l'Asie et de l'Afrique, dans les parties centrales de la Nouvelle-Hollande.

Dans la figure 53 chacune des huit lignes verticales correspond à l'une des huit directions principales du vent, et sur chacune de ces lignes nous avons pris une longueur proportionnelle à la tension moyenne de la vapeur lorsque souffle le vent correspondant à Halle. La tension maximum correspond au vent du S., la tension minimum correspond au vent du N. E. Il en est à peu près de même sur tout le versant Nord-Ouest de l'Europe ; le maximum se déplace toutefois un peu

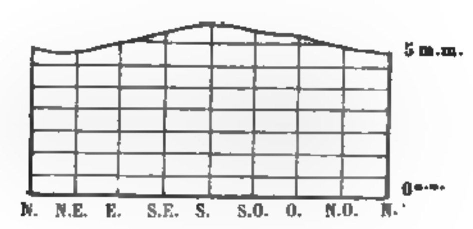


Fig. 53. — Variations moyennes de la tension de la vapeur d'eau sous l'influence des différents vents, à Halle.

vers les vents d'O. et de N. O. à mesure que l'on s'avance vers la Russie et la Sibérie ; il incline, au contraire, vers l'E. sur les côtes de Provence, et le vent le plus sec y est le N. O., ou mistral.

L'humidité relative dépendant de la température en même temps que de la tension de la vapeur, est soumise à des lois moins régulières, elle varie avec les vents d'une manière différente suivant les saisons, ainsi qu'il résulte de la figure 54. Les vents des régions N. E. sont généralement les plus froids en hiver et les plus chauds en été sur l'Europe ; ils y rendent l'état hygrométrique maximum dans le premier cas, et minimum dans le second. Le contraire a lieu pour les vents d'O. C'est qu'en hiver, les vents d'O. ont déjà perdu une grande partie de leur humidité en arrivant à Halle, et, comme ils adoucissent la température, ils n'y sont pas incompatibles avec le beau temps. Les vents du N. E., au contraire, sont très-froids, et, lorsqu'ils succèdent aux vents des régions d'O.,

dont ils ne sont souvent qu'un remous, ils amènent les brouillards. En été, les vents marins se dépouillent moins rapidement de leur vapeur sur un sol échauffé, ils en conservent assez pour produire des pluies fréquentes sur l'Allemagne et la Russie, tandis que les vents d'E. sont à la fois chauds et peu chargés de vapeur. Tous ces faits acquerront un nouvel intérêt lorsque nous aurons étudié les lois de la suc-

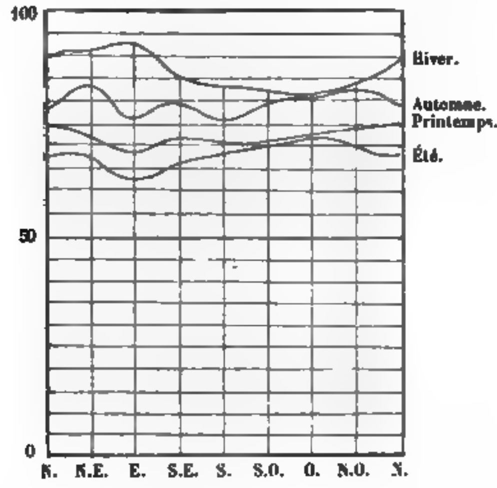


Fig. 54. — Variations de l'humidité relative, pendant les quatre saisons, sous l'influence des différents vents, à Halle.

cession des vents à la surface de l'Europe. Nous verrons alors comment les faits de chaque jour peuvent se trouver en désaccord avec les résultats moyens dont nous nous occupons en ce moment.

§ III. — Brouillards.

Lorsque la température d'une masse d'air descend au-dessous de son point de saturation ou point de rosée, sans descendre cependant au-dessous du degré de congélation de l'eau, la va-

peur se condense en gouttelettes liquides d'une petitesse extrême appelées *vésicules;* on dit que la vapeur devient vésiculaire. Les petits nuages formés par notre haleine pendant les temps froids sont dus à cette cause; il en est de même des panaches qui surmontent les orifices de sortie de la vapeur des locomotives. Les brouillards et les nuages sont formés par de la vapeur vésiculaire. L'apparence diffuse et translucide des premiers opposée à l'opacité et aux formes nettement tranchées des seconds n'est qu'un effet de la distance. Les nuages les plus brillants et les mieux limités reprennent l'apparence d'un brouillard ordinaire lorsqu'on s'élève jusqu'au milieu d'eux, et les formes vagues des brouillards se précisent à mesure qu'on s'en éloigne.

Les opinions des physiciens sont partagées sur la nature des vésicules; les uns les considèrent comme de petits ballons dont l'enveloppe est aqueuse et l'intérieur plein d'air humide : c'est de cette opinion qu'est venu le nom de vésicules; les autres les considèrent comme des globules d'eau sans cavité intérieure.

La première opinion a été émise par Halley; elle a été adoptée par de Saussure et Kratzenstein après de nombreuses expériences.

Lorsqu'on examine à la loupe et au soleil la vapeur d'un liquide coloré, tel qu'une infusion de café, on voit s'élever du liquide des globules de grosseur variée. Les uns s'élèvent rapidement sous l'instrument, tandis que les autres retombent. De Saussure, qui a décrit avec soin ce phénomène, rapporte que les globules ascendants diffèrent tellement des autres, qu'il est impossible de douter qu'ils soient creux. Ils n'offrent pas à la lumière la scintillation que présentent les globules pleins.

Jamais on n'observe d'arc-en-ciel sur les bouillards et les nuages comme on en observe sur les gouttes de pluie. Mais le fait le plus important serait dû à Kratzenstein, qui affirme avoir vu se produire à la surface des globules de vapeur les

phénomènes de coloration étudiés avec tant de succès par Newton à la surface des bulles de savon. La relation existant entre les couleurs ainsi produites et l'épaisseur de la pellicule d'eau qui leur donne naissance est telle que Kratzenstein a pu déduire des colorations observées par lui l'épaisseur de l'enveloppe des vésicules et l'évaluer à 6 centièmes de millimètres. Cette épaisseur, toutefois, ne serait pas constante et devrait être beaucoup moindre dans les brouillards ordinaires, dont le diamètre des vésicules ne serait en moyenne que de 2 centièmes et demi de millimètres, d'après Kæmtz, et varierait, suivant les saisons, de $0^{mm},014$ à $0^{mm},035$. Avec des dimensions aussi restreintes, la forme vésiculaire ne serait plus nécessaire pour expliquer les colorations de Kratzenstein. L'absence de toute trace d'arc-en-ciel dans les nuages ne doit pas non plus être considérée comme un fait aussi absolu qu'on l'a supposé ; et, en somme, s'il existe des globules creux dans les brouillards et les nuages, il est probable que les globules pleins y sont en grande majorité. Nous reproduisons, figure 55, la courbe des variations du diamètre moyen des globules pendant les divers mois de l'année, d'après Kæmtz. Leur diamètre maximum tombe en décembre, leur minimum en août. L'unité adoptée dans cette figure est le centième de millimètre.

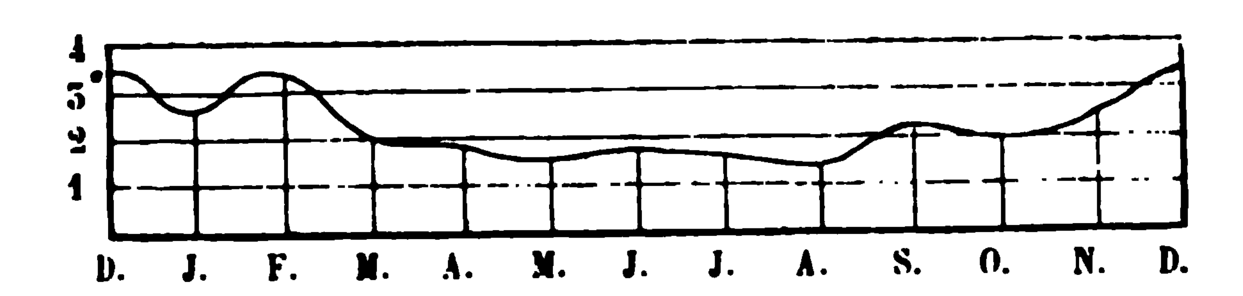


Fig. 55. — Diamètres des vésicules ou globules de vapeur condensée, dans les divers mois, à Halle.

Nous remarquerons, d'ailleurs, que, même dans nos climats, certains brouillards sont formés non plus par de la vapeur vésiculaire ou globulaire, mais par de véritables cristaux de glace de dimensions extrêmement petites. Cette forme est ordinaire

dans les régions polaires; elle donne à l'atmosphère un éclat particulier et se rattache à la formation des aurores boréales. Nous continuerons cependant à nous servir du terme généralement usité de vapeur vésiculaire sans y attacher un sens littéral, et pour distinguer la vapeur dans son premier état de condensation de la vapeur proprement dite.

Dans certaines conditions météorologiques, l'atmosphère devient brumeuse, le soleil s'obscurcit sans que l'air soit très-humide. Ces *brouillards secs* doivent être distingués des brouillards vrais produits par la vapeur vésiculaire. Dans les grandes villes, où l'on consomme de grandes quantités de houille, les brouillards secs apparaissent toutes les fois que l'air est calme, et particulièrement lorsque le baromètre étant haut, l'air a une tendance à s'abaisser vers le sol. La fumée s'accumule à une petite hauteur et ôte à l'atmosphère sa transparence ordinaire. Nous avons souvent reconnu la ville de Saint-Étienne à une distance de plusieurs lieues au milieu des montagnes, pendant les froids les plus secs de l'hiver, à la teinte rougeâtre que sa fumée projette sur les neiges environnantes; pendant l'été et sous un beau soleil, cette brume est blanche comme un brouillard. L'inégal échauffement des couches d'air voisines du sol produit également des apparences de légers brouillards pendant certains jours très-chauds de l'été en augmentant la diffusion de la lumière au sein de l'air. Des poussières d'origine organique ou minérale entraînées par les plus faibles brises, les sables des déserts soulevés par les vents, les cendres volcaniques transportées par les courants aériens à des distances souvent considérables, sont autant de causes des brouillards secs.

Le brouillard humide a une origine toujours la même, l'abaissement de la température de l'air au-dessous du point de rosée; mais il peut se former dans des conditions très-diverses en apparence.

Le soir et pendant la nuit, la température de l'air s'abaisse graduellement et l'hygromètre monte. Dans les endroits natu-rellement humides, les brouillards pourront se former presque toutes les nuits; dans les endroits plus secs, ils ne se produiront qu'aux époques où l'humidité est accrue par l'influence des vents ou de la saison; dans d'autres, ils ne se montrent que d'une manière exceptionnelle.

Dans les vallées entourées de hauts plateaux, les brouillards sont plus fréquents que dans les plaines largement ouvertes. Le refroidissement est rapide sur les lieux élevés, et l'air devenu plus dense par le froid glisse le long des pentes vers les lieux les plus bas. Dans ceux-ci, la température de l'air descend donc au-dessous de la température du sol, et l'air est déjà saturé que le sol tend encore à lui fournir de la vapeur. L'effet est surtout prononcé dans les vallées arrosées par des cours d'eau.

Des conditions analogues se reproduisent souvent sur une très-large échelle dans l'atmosphère. A mesure que le Gulf-stream s'avance vers le Nord, sa température baisse beaucoup moins rapidement que celle des régions atmosphériques sous lesquelles il s'avance; il fournit donc à l'air plus de vapeur que celui-ci n'en peut contenir; de là les brouillards épais et persistants qui recouvrent les mers tourmentées du Nord de l'Atlantique et rendent la navigation si laborieuse dans ces mers et les atterrages du Canada si dangereux. Ces brouillards s'étendent jusque sur l'Irlande et l'Angleterre, et quelquefois jusque sur la plus grande partie de l'Europe quand les vents les y poussent.

Les brouillards peuvent nous envahir même par les vents du Nord et pendant les temps calmes. Les vents des régions N. ne sont souvent pour nous que des remous de vents soufflant des régions S. O. à des latitudes un peu plus élevées. Froids et déjà humides, s'ils pénètrent dans une région où l'air est

humide lui-même, ils y produisent une condensation de la vapeur. Le calme coïncidant avec un baromètre haut est souvent accompagné de ces vents du S. O. établis à une petite distance vers le Nord. La faiblesse et l'indécision du vent résulte alors de ce que l'air est animé d'une vitesse descendante, bien plutôt que d'un calme réel. Les cheminées *tirent* mal dans ce cas, et leur fumée au lieu de s'élever dans l'atmosphère retombe vers le sol. Ce mouvement de l'air descendant des régions froides vers la surface terrestre y amène les nuages et les brouillards.

La forme visible des brouillards met souvent en évidence des influences locales qui, sans cela, passeraient inaperçues; ils sont ainsi un moyen d'études pour le météorologiste. M. Kæmtz rapporte qu'étant près de Wiesbaden, après une forte pluie à laquelle avait succédé le soleil, il vit une colonne de brouillard s'élever constamment d'un même point. Il y courut : c'était une prairie fauchée entourée de pâturages couverts d'une herbe très-haute. La partie nue s'échauffant plus rapidement que les parties voisines donnait lieu à une évaporation plus active et surabondante pour l'air frais situé au-dessus. Ces inégalités de température du sol favorisent en outre l'établissement des courants ascendants en permettant à des courants inverses de s'établir : certains nuages n'ont pas d'autre origine.

On a souvent attribué au brouillard une influence fâcheuse sur la santé. Cette influence est très-complexe. Le brouillard ordinaire est un signe d'humidité surabondante : la transpiration pulmonaire est donc entravée par lui. La vapeur vésiculaire en suspension dans l'air aspiré par nos poumons s'y vaporise d'abord et prend la place d'une quantité correspondante d'eau qui eût été fournie par nos organes. Nous remarquerons cependant que l'air chargé de brouillard est d'ordinaire à une température notablement inférieure à celle qu'il recevra pendant l'acte de

la respiration. A cette nouvelle température, et malgré son humidité première, il est encore assez loin de son point de saturation. L'inconvénient n'est donc pas aussi grave qu'on pourrait le croire, du moins sur ce premier point.

Mais, d'autre part, le brouillard se forme généralement au milieu d'une masse d'air en repos ou animée d'un mouvement lent dirigé de haut en bas; les émanations de toute nature provenant du sol ou de ses habitants s'y accumulent et s'y manifestent quelquefois par une odeur désagréable : les inconvénients sont alors plus sérieux; ils deviennent même très-marqués dans les pays marécageux où les brouillards du soir sont accusés de donner les fièvres à ceux qui s'y exposent. Il convient là même de faire quelques réserves. Le froid périodique du soir est une cause de prédisposition aux fièvres, et, d'un autre côté, l'abaissement des couches supérieures de l'atmosphère vers le sol n'est pas nécessairement suivi de l'apparition des brumes, bien qu'il ait toujours pour effet de concentrer dans les couches inférieures les émanations miasmatiques. Il paraît donc raisonnable de voir dans le brouillard le signe visible de conditions atmosphériques défavorables pouvant exister en dehors de lui, sans lui attribuer à lui-même une influence exagérée.

Les pluies donnent à l'air une humidité réelle quelquefois plus abondante que les brouillards; mais elles balayent l'atmosphère et entraînent la plupart des substances qu'elle tient en suspension. Dans les pays chauds, cependant, elles deviennent à la longue désastreuses pour la santé, parce qu'elles suspendent la transpiration pulmonaire et cutanée, et qu'elles favorisent, en outre, dans une large proportion, la formation des miasmes de la terre.

§ IV. — Nuages.

Entre le nuage et le brouillard, il n'y a qu'une différence de position : la nature et l'origine restent les mêmes. Les nuages sont des amas de vapeur vésiculaire ou d'aiguilles de glace formées dans un air dont la température est descendue au-dessous du point de saturation. Les uns viennent tout formés des vallées ; d'autres se produisent sur les rampes ou les pitons des hautes montagnes ; la plupart prennent directement naissance au milieu des couches élevées de l'atmosphère.

Dans les chapitres VIII et IX, nous avons vu le rôle que jouent les mouvements tournants de l'atmosphère dans la production des nuages et des pluies, et l'influence que ces derniers exercent à leur tour sur la conservation de ces mouvements : nous ne reviendrons pas sur ce point. Mais tous les nuages n'ont pas une semblable origine ; il s'en produit sous l'action de causes toutes locales, lorsque l'air est suffisamment humide et que sa température décroît rapidement avec la hauteur ou avec le temps.

Dans les froides matinées de l'automne, on peut voir, du sommet des montagnes, les vallées couvertes d'un épais brouillard simulant une vaste nappe d'eau. Lorsque les rayons solaires commencent à échauffer l'atmosphère, la nappe unie se tourmente, des espèces de vagues s'y élèvent peu à peu, de profondes vallées s'y dessinent, et des lambeaux s'en détachent entraînés le long des flancs des montagnes par les courants ascendants qui s'y produisent. D'autres fois, alors que l'atmosphère de la plaine est douée d'une transparence parfaite, on voit des masses nuageuses se former au sommet des montagnes élevées, et y paraître immobiles, tandis que, dans le voisinage,

d'autres nuages détachés sont rapidement emportés par les vents. Le nuage immobile ne l'est qu'en apparence. La vapeur apportée de la vallée dans ces hautes régions s'y condense à mesure, mais à mesure aussi la vapeur vésiculaire produite est entraînée par le vent ou disparaît transformée de nouveau en vapeur. Le nuage marque le lieu froid mais abrité du vent où s'opère la condensation temporaire, ses éléments se renouvellent sans cesse.

Toute cause tendant à inégaliser les températures dans une même région aide à la formation des courants ascendants locaux; elle favorise le transport de l'air chaud et chargé de vapeur des couches inférieures aux couches élevées et froides où la vapeur, ne pouvant plus garder son état gazeux, prend la forme vésiculaire et l'apparence des nuages. Aussi les nuages sont-ils fréquents même dans des pays de l'Asie et de l'Afrique où il ne pleut presque jamais. Les plus petits îlots des mers intertropicales s'échauffant plus, dans le jour, que les eaux voisines donnent lieu à des effets de ce genre; les navigateurs peuvent reconnaître de loin ces îles à la couronne de nuages épais formés au-dessus d'eux.

On comprend dès lors comment ces amas de vapeur vésiculaire nécessairement plus dense que l'air peuvent cependant se soutenir au milieu de l'atmosphère. Le repos n'y est qu'apparent; en pénétrant à leur niveau on constate les mouvements qui les agitent. Ces mouvements s'effacent par la distance d'où on les observe de même que leurs contours diffus se limitent et se précisent. Abandonné à lui même dans un air parfaitement calme, le globule tomberait avec une extrême lenteur à cause de son extrême petitesse; on peut suivre de l'œil la chute des brumes à la surface du sol. En estimant la vitesse de chute à 1 mètre ou $1^{m}5$ par seconde on l'exagère certainement beaucoup. Dans un courant montant avec une vitesse de 2 mètres, ce qui correspond à un vent très-faible, le globule

monterait encore avec une vitesse de 1 mètre ou de 50 centimètres par seconde. Les nuages s'élèvent en effet pendant le jour, lorsque les courants ascendants sont bien établis; dès que ces courants se ralentissent ou changent de direction, les nuages se rapprochent du sol. D'autres phénomènes s'ajoutent aux précédents et les modifient.

Là où le nuage existe il se substitue à une partie correspondante de la surface du globe; il absorbe la chaleur par sa partie supérieure qui s'échauffe et repasse à l'état de vapeur. Dans le milieu du jour, le nuage se fond par sa couche supérieure et se recharge par-dessous : ses variations de volume dépendent du rapport existant entre ces deux effets. Le soir, quand le nuage descend, il pénètre par les couches inférieures dans un air de plus en plus chaud; il s'y dissout, tandis que le refroidissement de sa partie supérieure tend à l'accroître : ici encore les deux influences opposées se balancent inégalement, et les nuages augmentent ou se fondent dans l'air suivant les temps et les lieux.

Les nuages dont nous venons de retracer l'origine ont une forme particulière; ils sont généralement isolés et arrondis, et ressemblent quelquefois à des amas de montagnes entassées les unes sur les autres : ce sont les nuages de la belle saison. D'autres naissent dans des circonstances très-différentes.

Par un temps chaud, clair, et cependant humide, qu'un vent froid du Nord pénètre dans notre atmosphère, les nuages ne tarderont pas à se montrer. Dans ce cas, la condensation se fait généralement en nappes dont l'épaisseur dépasse quelquefois plusieurs centaines de mètres. Si c'est, au contraire, un vent humide venu du S. ou du S. O. qui s'établit dans les hautes régions, des nuages légers se montrent peu à peu, et leur volume apparent augmente à mesure que la couche où ils se forment se rapproche de nous. Rien n'est varié comme l'aspect des nuages, si ce n'est les conditions au milieu des-

quelles ils se forment. Tout se résume, en définitive, à un abaissement dans la température de l'air au-dessous de son point de rosée; mais sur ce thème si simple se brodent les variations les plus riches et les plus changeantes.

§ V. — Formes des nuages.

Les nuages sont tellement mobiles dans leurs aspects que toute classification semble impossible. Cependant les météorologistes, et en particulier Howard, se sont efforcés de les ramener à quelques types principaux. Ces types, importants par eux-mêmes, le sont encore plus en ce qu'ils se rattachent à des modifications antérieures de l'atmosphère et nous fournissent des indications précieuses sur les changements de temps à venir.

Howard a distingué, d'après leur forme, trois sortes de nuages, les *cirrus*, les *cumulus* et les *stratus*, auxquelles on rattache quatre formes de transition, les *cirro-cumulus*, les *cirro-stratus*, les *cumulo-stratus* et les *nimbus*. Ces divisions pourraient être multipliées à l'infini, mais sans grand profit pour la science, chaque nuage ou lambeau de nuage ayant sa forme propre. Les apparences les plus remarquables sont représentées page 294.

Les CIRRUS (*queues de chat* des marins) se composent de filaments déliés et transparents dont l'aspect ressemble à des barbes de plume ou à un réseau léger et inégal : ce sont les nuages les plus élevés. Les voyageurs qui ont parcouru les grandes chaînes de montagnes sont unanimes pour déclarer que des plus hauts sommets leur apparence reste à peu près la même. Dans un séjour de onze semaines en face du Finsteraarhorn, dont l'élévation est de 4200 mètres, M. Kæmtz ne les a jamais



NOMENCLATURE DES NUAGES PAR HOWARD

* Stratus, ** Cirrus, *** Cumulus, **** Nimbus.

vus descendre au-dessous du sommet de cette montagne; des mesures faites à Halle l'ont conduit souvent à leur assigner une hauteur de 6500 mètres environ.

C'est au milieu des cirrus que se forment les halos et les parhélies, et, en étudiant ces nuages par réflexion dans un miroir noirci, il est rare de n'y pas trouver des traces de halos. Ces phénomènes étant dus à des réfractions ou réflexions de lumière par des particules glacées, on peut en conclure que les cirrus eux-mêmes sont formés de ces particules dont l'atmosphère est remplie dans les régions polaires pendant les froids de l'hiver.

Dans nos climats, les cirrus accompagnent d'ordinaire le retour des vents du S. O. dans les hautes régions de l'atmosphère; et même, lorsque le vent souffle à la surface du sol dans des directions opposées, on les voit souvent marcher lentement du Sud-Ouest vers le Nord-Est. C'est aussi dans cette direction qu'ils s'allongent en bandes parallèles disposées sans doute sur les surfaces de séparation des courants du S. et de la masse d'air au milieu de laquelle ces courants s'établissent. Les arêtes plus fortement teintées en blanc qu'ils présentent dans la même direction seraient dues à des effets de perspective et à ce que la couche ondulée des particules glacées serait vue en ces points par sa tranche. A l'équateur, M. de Humboldt a trouvé que l'orientation des bandes se faisait du Sud au Nord. Les registres météorologiques des membres de la Commission du Nord qui ont hiverné en Laponie donnent une direction voisine de l'Ouest à l'Est. Toutes ces indications sont conformes à la marche des grands courants de l'atmosphère.

Lorsque le vent du Sud-Ouest, annoncé par les cirrus, gagne peu à peu les régions inférieures de l'atmosphère, les cirrus deviennent de plus en plus denses. Ils passent à l'état de *cirro-stratus*, qui se montrent d'abord sous la forme d'une masse semblable à du coton cardé dont les filaments seraient

étroitement entrelacés. Leur blancheur se fond peu à peu dans une teinte grisâtre correspondant à la fusion des aiguilles de glace et à leur transformation en vapeur vésiculaire ; ils s'abaissent en même temps, et la pluie ne tarde généralement pas à venir.

Plus rarement les *cirro-cumulus* succèdent aux cirrus. Ces nuages, qui donnent au ciel un aspect pommelé, sont composés, comme les cirro-status, de vapeur vésiculaire ; ils sont très-légers, laissent passer la lumière du soleil et de la lune, et, quand ils s'interposent entre les astres et nous, ils les entourent d'une admirable couronne. Ils n'indiquent pas une pluie aussi prochaine que le cirro-stratus, et semblent accuser, au contraire, une décroissance assez peu rapide de la température dans les hautes régions.

Les CUMULUS ou nuages d'été (*balles de coton* des marins) sont le produit des courants ascendants. Leur hauteur est très-variable, toujours moindre cependant que celle des cirrus. C'est dans les beaux jours de l'été que leur forme est la mieux caractérisée. Lorsque le courant du Sud-Ouest est peu éloigné, on voit souvent le soleil se lever sur un ciel serein ; puis, vers huit heures du matin, quelques nuages se montrent. Petits et rares d'abord, leur volume semble croître de l'intérieur à l'extérieur, ils grossissent, s'accumulent, et forment des masses toujours nettement circonscrites, limitées par des lignes courbes, et entassées les unes sur les autres. Leur aspect est quelquefois reproduit assez exactement par la condensation d'un jet de vapeur s'élançant d'une chaudière dans un air calme et humide. Leurs mouvements intérieurs semblent seulement beaucoup plus lents par le double effet de l'éloignement et d'une vitesse de projection du courant réellement beaucoup moindre. Leur nombre et leur volume augmentent jusque vers trois ou quatre heures, puis ils diminuent et disparaissent au coucher du soleil ; ils reparaissent souvent dans la première moitié de la

nuit pour disparaître de nouveau dans l'après-minuit. Leur hauteur est assez faible le matin ; ils montent jusqu'au moment de la plus forte chaleur, puis redescendent le soir. Ce double mouvement est facile à constater dans les pays de hautes montagnes. Souvent le voyageur les y voit au-dessous de lui le matin ; il se trouve, quelques heures plus tard, enveloppé par eux comme d'un épais brouillard ; plus tard encore il les voit planer sur sa tête. Le phénomène inverse est produit dans la soirée. M. Peytier, capitaine d'état-major, a communiqué à l'Institut, en 1837, quarante-huit mesures de hauteur de nuages faites en 1826 pendant la triangulation qu'il effectua dans les Pyrénées avec M. Hossard. Les extrêmes, pour le plan inférieur des nuages, ont varié de 450 à 2500 mètres, et pour le plan supérieur, de 900 à 3000. L'épaisseur de la couche moyenne était donc de 450 à 500 mètres. Diverses autres mesures faites par Riccioli, Bouguer, de Humboldt, Lambert, Crosthwaite, Kæmtz, etc., ont donné pour extrêmes 400 et 6000 mètres. Pendant la campagne de *la Vénus*, on a trouvé, sur l'océan Atlantique et la mer du Sud, 900 et 1400 mètres pour limites extrêmes. La hauteur moyenne de ces nuages et leur excursion quotidienne sont donc très-variables suivant les lieux et l'état de l'atmosphère.

Les cumulus indiquent, dans nos climats, l'existence peu éloignée du courant du S., et un temps assez incertain. Au lieu de disparaître le soir, ils deviennent souvent plus nombreux et plus denses, et constituent les *cumulo-stratus*. Leurs bords sont moins brillants, leur teinte plus foncée, surtout s'il existe au-dessus d'eux une couche de cirrus. Le courant équatorial est alors plus près de nous, l'air plus humide ; la pluie ou les orages deviennent imminents. S'il n'y a ni orage ni pluie, les nuages peuvent persister jusqu'au lendemain, ou bien tout disparaît, pour donner lieu le jour suivant à la réapparition des cumulus à une plus grande hauteur, puis au retour

des cumulo-stratus sur le soir. Ce dernier genre de nuages est commun dans l'hiver, et le ciel en est quelquefois couvert pendant des semaines entières. Il est dû sans doute à une décroissance plus rapide de la température avec la hauteur et à un degré de saturation plus avancé.

L'action du soleil sur ces divers nuages donne lieu à des variations atmosphériques bien connues des cultivateurs. Quelquefois il pleut abondamment le matin par suite du refroidissement nocturne; puis le soleil échauffant l'air et les nuages dissout ces derniers. Les courants ascendants portent les vapeurs en de plus hautes régions où le froid les condense de nouveau; la pluie tombe encore. Sur le soir, les courants ascendants faiblissent ou sont remplacés par des courants inverses. Les nuages descendent, traversent des couches d'air plus chaudes, où ils se dissolvent jusqu'à ce que le refroidissement nocturne ramène la condensation et la pluie. Mais, si ces phénomènes sont pour ainsi dire l'état normal des régions tropicales pendant la saison des pluies, ils sont liés, chez nous, à l'existence plus ou moins rapprochée du courant équatorial et à la vapeur d'eau qu'il nous amène.

Les STRATUS sont de longues bandes de nuages s'étendant à l'horizon le soir au coucher du soleil, et quelquefois à son lever. Ce sont des couches de nuages que la perspective montre par la tranche : alors même qu'ils sont formés par des vapeurs légères, ce point de vue leur donne une densité apparente assez considérable. Des cumulus d'égale hauteur, ainsi vus dans leur plan, produisent un effet semblable. Il en serait de même des cirrus, des cirro-cumulus. Les cumulo-stratus doivent à leur faible hauteur une partie de l'aspect qu'ils présentent. Le stratus est donc une apparence plutôt qu'une forme particulière de nuages.

Il en est de même du NIMBUS. Un nuage quelconque, en s'abaissant ou en se résolvant en pluie, devient un nimbus.

§ VI. — Pluie et Neige.

Pluie. — A mesure que, par les progrès de la condensation, les vésicules de vapeur augmentent de volume, leur vitesse de chute s'accélère. La résistance de l'air est, en effet, beaucoup plus grande, relativement, pour des globules très-fins que pour des gouttes d'une grosseur déjà notable. Il arrive quelquefois que nous nous trouvons au milieu même du nuage, qui se résout en pluie dans un air calme. Le phénomène prend le nom de *serein*. Les gouttelettes sont fines et nombreuses, et leur chute est très-lente.

On a supposé que les gouttes de pluie, en tombant, condensaient à leur surface de la vapeur prise aux couches d'air qu'elles traversent, et atteignaient ainsi la grosseur que nous leur connaissons. Ce résultat est théoriquement incontestable dans un grand nombre de cas, mais il est extrêmement limité. La vapeur condensée par chaque goutte de pluie abandonne de la chaleur latente qui servirait à échauffer ces gouttes, nécessairement plus froides que l'air environnant, autrement aucune condensation de vapeur n'aurait lieu. Des deux pluviomètres de l'Observatoire impérial, l'un, situé dans la cour, a accusé en moyenne annuelle, de 1817 à 1827, 57 centimètres de pluie, tandis que l'autre, celui de la terrasse, placé à 27 mètres au-dessus du premier, n'en accuse que 50. La chaleur, dégagée par les 7 centimètres de pluie que l'on pourrait supposer condensée dans l'intervalle qui sépare les deux pluviomètres, suffirait pour élever de 75 degrés la température des 50 autres. La vérité est que, depuis quelques années, la différence entre les deux pluviomètres de l'Observatoire va en s'affaiblissant graduellement par l'effet de quelques plantations nouvelles.

Elle est donc très-probablement en grande partie due à un simple effet d'emplacement et à l'entraînement des gouttes liquides par les remous de vent. La dimension souvent considérable de ces gouttes doit avoir une autre origine que le dépôt successif de vapeur à leur surface. Une explication plus probable se trouve dans le froid très-vif que l'on rencontre certains jours à de faibles hauteurs de l'atmosphère, même dans les plus chaudes journées de l'été. Les grêles, fréquentes dans cette saison, en sont la conséquence. L'énorme dimension que les grêlons acquièrent quelquefois, leurs formes irrégulières, anguleuses même, montrent qu'ils ont dû rester longtemps ballottés dans les nuages, et que plusieurs d'entre eux se sont soudés ensemble. La pluie froide qui les accompagne provient de grêlons moins gros ou moins compacts qui ont eu le temps de fondre avant d'arriver jusqu'à nous. D'un autre côté, beaucoup de pluies dans la plaine sont des neiges sur les montagnes.

Il est probable que, dans certaines pluies, des vésicules ou globules plus ou moins nombreux se sont réunis entre eux pour former des gouttelettes, et que celles-ci, en traversant le nuage, ont ramassé et fondu en elles un grand nombre d'autres vésicules. Pour d'autres pluies, l'origine des gouttes sera due à la fusion de flocons de neige grossis d'autres flocons, ou à la fusion de grains de grêle ou de grésil.

On voit quelquefois, il est vrai, de larges gouttes de pluie tomber d'un ciel sans nuage ; on voit aussi quelquefois le sol se couvrir de neige par un ciel parfaitement clair en apparence ; c'est qu'il faut que les vésicules d'eau ou les aiguilles de glace soient déjà très-pressées et occupent des couches assez épaisses pour troubler d'une manière bien sensible la transparence de l'air.

Le fait inverse est plus facile à concevoir. Dans les plaines, au printemps, quand le temps est variable, on voit quelquefois la pluie tomber en abondance d'un nuage situé à l'horizon ; mais

les bandes de pluie que l'on distingue à leur couleur grise disparaissent avant d'arriver au sol. La pluie s'est évaporée dans les couches d'air qu'elle a successivement traversées. Ici, la chaleur latente d'évaporation n'est pas prise aux gouttes d'eau, elle est prise à l'air, dont la masse est considérable par rapport à celle de l'eau fournie par l'averse la plus abondante. Le refroidissement résultant pour l'air peut n'être que de quelques degrés.

Neige. — La légèreté des flocons de neige, et la lenteur avec laquelle ils tombent, rend facile l'explication des dimensions qu'ils acquièrent. Les cristaux ont d'ailleurs la propriété de favoriser le dépôt de nouveaux cristaux à leur surface, et de s'accroître dans des conditions où la cristallisation ne s'opérerait pas si elle n'était pas déjà commencée.

Les cristaux dont la neige est formée sont admirables de délicatesse et de variété. Les flocons qui tombent en même temps



Fig. 56. — Cristaux de neige grossis à la loupe.

ont à peu près la même forme ; mais, si un certain intervalle s'écoule entre deux averses de neige, on observe dans la seconde d'autres figures que dans la première. Les différences les plus légères dans la température et l'état hygrométrique suffisent à modifier de mille manières la forme des cristaux. Scoresby, qui a fait un grand nombre de voyages dans les mers polaires, comme capitaine baleinier, a donné d'intéressants détails à ce sujet, dans son ouvrage sur le Nord. Nous reproduisons (fig. 56) les plus remarquables des figures qu'il en donne. On reconnaîtra

quelqu'une d'entre elles dans la neige tombante, en la recevant sur du drap ou du velours noir, et en l'examinant à la loupe. Les figures sont plus nettes et plus régulières quand le temps est calme. Une grande agitation dans les nuages, au moment où la neige se forme, la pelotonne en petites masses constituant le *grésil*.

§ VII. — **Rosée, Givre, Gelée blanche.**

Jusqu'à présent nous avons supposé que le refroidissement et la condensation de la vapeur avaient lieu dans la masse même de l'air; souvent aussi le phénomène a lieu à la surface des corps; il prend le nom de *rosée* quand la vapeur se dépose à l'état d'eau, et de *givre* ou de *gelée blanche* quand la vapeur se dépose à l'état de glace.

La formation du givre ou de la rosée se produit fréquemment sous nos yeux, lorsque nous introduisons au milieu d'un air chaud un corps froid, tel qu'un vase plein d'un mélange de neige et de sel marin, ou simplement une carafe d'eau fraîche.

La rosée a été l'objet des hypothèses les plus discordantes jusqu'au moment où le docteur Wells en a donné la véritable explication.

Le refroidissement nocturne a lieu surtout par voie de rayonnement. La chaleur s'échappe des corps froids ou chauds, comme elle émane du soleil; l'abondance des rayons émis varie seule avec la température. Mais, de même que la terre a sur les rayons solaires un pouvoir absorbant beaucoup plus grand que l'atmosphère, elle conserve aussi un pouvoir émissif beaucoup plus développé que celui de l'air. Les rayons de chaleur qui émanent de la terre sont en outre obligés, pour se disperser dans les espaces planétaires, de traverser l'atmosphère

dont ils compensent en partie les pertes. Il en résulte que, si la température de l'air baisse d'abord plus vite que celle du sol, le sol ne tarde pas à prendre les devants; et, par une nuit calme et sereine, il n'est pas rare de voir un thermomètre couché sur l'herbe descendre, même dans nos climats, de 7 ou 8 degrés au-dessous de la température d'un thermomètre placé à quelques décimètres seulement du sol. Entre ces deux températures il existe un assez large intervalle pour le point de rosée.

Les circonstances favorables à la formation de la rosée sont dès lors faciles à prévoir.

1° Plus l'air sera humide, plus la température de précipitation de la vapeur sera facile à atteindre. Les rosées sont plus abondantes dans le voisinage des grandes masses d'eau, sur les côtes, que dans l'intérieur des continents ; elles suffisent à compenser la rareté des pluies d'été dans la Provence et l'Algérie pour la culture des céréales.

2° Plus le ciel sera pur, l'air calme, l'horizon étendu, plus la perte par rayonnement sera efficace. Les nuages, les brouillards élevés, ou les objets terrestres rendent à la terre plus de chaleur que ne le ferait l'espace céleste qu'ils interceptent; ils sont un obstacle au refroidissement terrestre; de même l'air, en se renouvelant trop vite autour des objets plus froids que lui, les réchauffe. L'une et l'autre cause diminuent l'abondance des rosées.

Dans les pays méridionaux, le ciel est généralement d'une pureté à peu près inconnue sous le climat de Paris; le refroidissement nocturne y est très-actif, et le désert même a ses rosées.

Les nuits claires du printemps sont très-redoutées du cultivateur, surtout lorsqu'elles sont précédées par des pluies. Alors même que la température descend à peine à zéro dans l'intérieur des villes ou dans les lieux couverts, la glace apparaît dans la campagne, et les plantes peuvent descendre à 5

ou 6 degrés au-dessous de zéro : la rosée devient alors gelée blanche, et il suffit quelquefois des dernières heures d'une belle nuit pour détruire les plus belles apparences de récoltes. Si la gelée blanche est plus redoutable après la pluie que par un temps sec bien établi, c'est que la plante est plus tendre et plus délicate, et qu'alors elle supporte d'autant moins facilement l'action du froid qu'elle y a été moins préparée. Les temps pluvieux ont un ciel couvert et des nuits pendant lesquelles il ne gèle pas au printemps, du moins dans les années ordinaires. La lune rousse est à craindre seulement quand elle se montre, parce que le ciel est alors découvert : le cultivateur dit que ses rayons sont malfaisants; ignorant la cause, il s'attache au signe visible qui l'accompagne. Bien des préjugés, dans les campagnes, ne sont ainsi qu'une vérité mal formulée, une vérité de fait, avec une erreur d'interprétation.

Dans l'Inde, où malgré la chaleur du jour le froid nocturne est très-vif, les cultivateurs allument dans leurs champs des feux accompagnés de beaucoup de fumée. Les nuages artificiels ainsi formés suffisent pour abriter les récoltes. Cette pratique y est rendue possible par le calme complet de l'air, calme qui par lui-même augmente l'abaissement de la température des plantes. Dans nos pays, quand l'abri des nuages fait défaut, les jardiniers y suppléent par des claies, des toiles, des paillassons ou des châssis.

Si le calme absolu de l'air est favorable à un refroidissement intense des objets terrestres, il ne l'est pas autant à l'abondance des rosées. Une fois que la couche d'air en contact avec l'objet s'est dépouillée de sa vapeur en excès, si elle n'est pas remplacée par un autre, le dépôt s'arrête. Le renouvellement de l'air est donc favorable dans une certaine limite; un vent un peu fort arrête la formation de la rosée, parce que l'air entourant les objets n'a pas le temps de se refroidir, et que les objets eux-mêmes se refroidissent mal.

Tous les corps ne rayonnent pas et ne se refroidissent pas au même degré pendant la nuit ; la rosée ne se dépose pas sur tous avec la même abondance : l'herbe et les plantes s'en recouvrent facilement ; les métaux en reçoivent peu, surtout quand ils sont polis.

Une espèce de rosée peut se déposer sur les corps, même pendant le jour. La cause en est alors différente. Lorsque après des froids prolongés survient un vent chaud et humide, les murs des édifices n'ayant pas eu le temps de s'échauffer précipitent la vapeur de l'air à leur surface. Dans les mêmes conditions, et par des froids plus vifs encore, le dépôt peut être solide et forme le givre. Nous remarquerons cependant que, pour ce dernier dépôt, il n'est pas toujours nécessaire que le corps où il se produit soit à une température inférieure à celle de l'air. La cristallisation s'opère plus facilement sur les objets qu'au milieu de l'air, surtout sur les aspérités, et mieux encore sur un cristal déjà formé ; de là, le givre qui recouvre les cheveux ou les habits par les grands froids.

CHAPITRE XI

DISTRIBUTION DES PLUIES

§ Ier. — Pluies entre les tropiques.

Dans la région des alizés le ciel est généralement pur. Parfois on y remarque de légers nuages; mais ces nuages sont situés à une grande hauteur, et souvent même leur direction du S. O. au N. E. montre qu'ils sont placés à la limite inférieure du contre-alizé de retour. Les pluies y sont donc très-rares, et ne s'y produisent que sur le parcours des mouvements tournants venus des régions où les alizés cessent ou du moins perdent leur régularité. On conçoit qu'il en doive être ainsi. Les alizés progressent vers l'équateur thermique; ils parcourent successivement des régions de plus en plus chaudes, et leur capacité de saturation va croissant. Leur température baisse, il est vrai, pendant la nuit; mais ce mouvement du thermomètre est peu prononcé sur la mer; s'il l'est un peu plus dans les hautes régions de l'atmosphère ou sur les continents, par contre l'air y est plus loin de son point de saturation. Les accidents météorologiques propres à mélanger brusquement les diverses couches d'air sont à peu près inconnus dans les zones alizées,

du moins à une certaine distance des côtes et hors du trajet des cyclones. Tout s'y réduit à d'abondantes rosées nocturnes.

L'aspect du ciel change d'une manière complète quand on approche de la zone des calmes équatoriaux. Cette zone est connue des navigateurs par ses pluies fréquentes et torrentielles, sa voûte de nuages perpétuels, l'atmosphère lourde qu'on y respire, ses orages nombreux et violents. Les marins anglais et américains la désignent sous le nom de *Cloud-Ring* (Anneau de Nuages); nos marins l'appellent le *Pot-au-Noir*. Là viennent s'accumuler toutes les vapeurs amassées par les alizés dans leur long parcours à la surface de l'Océan; ces vapeurs sont entraînées par la nappe équatoriale ascendante dans les hautes régions de l'atmosphère où elles trouvent des températures de plus en plus basses; elles s'y condensent en grande partie et forment cette voûte de nuages qui, vers l'équateur, entoure la terre comme d'un anneau obscur et dont la largeur s'étend au delà des limites des calmes. Tout ce qui ne se résout pas en pluie se déverse latéralement, entraîné par les contre-alizés; mais ces nuages interceptent les rayons solaires, ils s'échauffent de toute la chaleur qui sans eux arriverait jusqu'à la surface de l'Océan; ils se fondent graduellement à mesure qu'ils s'écartent de l'anneau central, et quelques lambeaux seulement passent au-dessus des régions où règnent les alizés. Les contre-alizés chargés de ces vapeurs marchant vers des latitudes où la température est de moins en moins élevée finissent par se sursaturer, et vers les tropiques nous verrons reparaître deux autres anneaux de nuages moins continus cependant et moins abondants que dans la zone des calmes équatoriaux.

Dans cette dernière, toutefois, les pluies ne sont pas continues. Les variations diurnes de la température et surtout les mouvements de l'atmosphère qui en sont la conséquence y produisent quelques intermittences. Les courants ascendants atteignent plus haut le jour que la nuit, et l'influence des rayons

solaires ne suffit pas à compenser le refroidissement résultant de cet accroissement d'altitude des nuages. Le ciel est assez souvent clair le matin au lever du soleil, souvent aussi les nuits s'écoulent sans pluie. C'est de 4 heures du matin à 4 heures du soir que l'eau tombe en plus grande abondance.

Sur les continents, la différence entre les températures du jour et de la nuit est beaucoup plus marquée. Il en résulte des oppositions périodiquement alternantes entre la terre et l'eau, et des oscillations correspondantes, favorisées par les saillies du sol, se produisent dans les mouvements de l'atmosphère. Les courants ascendants y sont singulièrement activés par la température élevée du jour ; aussi peut-on reconnaître au loin les îles de l'océan Pacifique aux splendides piles de nuages qui planent au-dessus d'elles, non-seulement quand elles sont élevées et montagneuses, mais encore lorsqu'elles sont basses et composées de simples récifs de corail dépassant à peine la surface de l'eau. Ces masses de nuages ne proviennent pas seulement de l'île elle-même ; les courants ascendants produits à leur surface déterminent un appel d'air, particulièrement sur la partie de l'Océan d'où vient le vent, et cet air apporte un fort contingent de vapeur. La pluie et l'orage peuvent alors éclater plus tard, mais aussi ils se prolongent beaucoup plus avant dans la nuit. Dans certaines parties du Mexique, l'orage et la pluie commencent régulièrement vers deux heures du soir et la pluie continue jusqu'à cinq heures du matin ; dans d'autres, la pluie cesse pendant la nuit ; dans d'autres encore, elle dure à peine quelques heures. Les plus grandes divergences apparaissent, d'un lieu à l'autre, dans sa quantité, sa durée et les heures de sa chute. Ces divergences résultent des rapports de position de la terre et de l'Océan, de la direction des chaînes de montagnes, de l'altitude du lieu considéré et de sa situation sur le versant exposé aux vents marins ou sur le versant opposé.

La zone des calmes équatoriaux se déplaçant annuellement à

la surface du globe à la suite du soleil, la région pluvieuse éprouve un déplacement semblable. Entre les limites extrêmes de leur parcours, à Bogota, par exemple, il existe annuellement deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches; en s'avançant vers ces limites, les deux saisons pluvieuses se rapprochent, et aux limites mêmes elles se confondent en une seule saison pluvieuse alternant avec une saison sèche et commençant à une époque d'autant plus tardive qu'on remonte plus haut vers les tropiques.

Dans la partie de l'Amérique méridionale située au Nord de l'équateur, le ciel est sans nuages depuis décembre jusqu'en février, le vent souffle de l'E. ou de l'E. N. E., l'air est sec et les végétaux sont sans feuilles. Vers la fin de février ou le commencement de mars le bleu du ciel devient moins foncé, l'air se charge d'humidité et les feuilles des arbres commencent à pousser; l'alizé souffle avec moins de force et tombe entièrement par instants; des montagnes de nuages s'amassent au Sud-Sud-Est et parcourent quelquefois le ciel avec une extrême vitesse; l'électricité atmosphérique devient plus forte, surtout au coucher du soleil, et quelques éclairs sillonnent le ciel au Sud : c'est un signe certain de l'approche des pluies. Le ciel se trouble et devient gris. L'après-midi, au moment où la chaleur est à son maximum, un orage éclate accompagné de fortes pluies. Au commencement, les nuages et la pluie se forment seulement durant les heures brûlantes du jour et disparaissent vers le soir; à mesure que la saison avance, ils se montrent dès le matin; puis, sur la fin, ils reparaissent de nouveau dans l'après-midi. A Panama, les pluies commencent dans les premiers jours de mars; sur les bords de l'Orénoque, elles n'arrivent guère avant la fin d'avril, et vers le milieu de juin à San-Blas en Californie. A la Havane, dans l'île de Cuba, et à Rio-Janeiro, on est déjà sorti des limites des pluies équatoriales, les conditions climatériques ont quelque analogie avec celles des hautes latitudes. Au

Sénégal, la saison des pluies dure depuis le commencement de juin jusqu'au commencement de novembre.

Dans l'Inde, le régime des pluies est sous la dépendance des moussons. La côte occidentale de la presqu'île est pluvieuse tant que dure la mousson du S. O.; la saison sèche y règne pendant la mousson du N. E. L'inverse a lieu pour la côte orientale; mais les pluies sont moins abondantes sur les côtes de Coromandel que sur celles de Malabar, parce que le golfe du Bengale est moins étendu que l'océan Indien. Le plateau du Dekan participe des climats des deux côtes. Un régime analogue est produit dans l'Indo-Chine par des causes semblables.

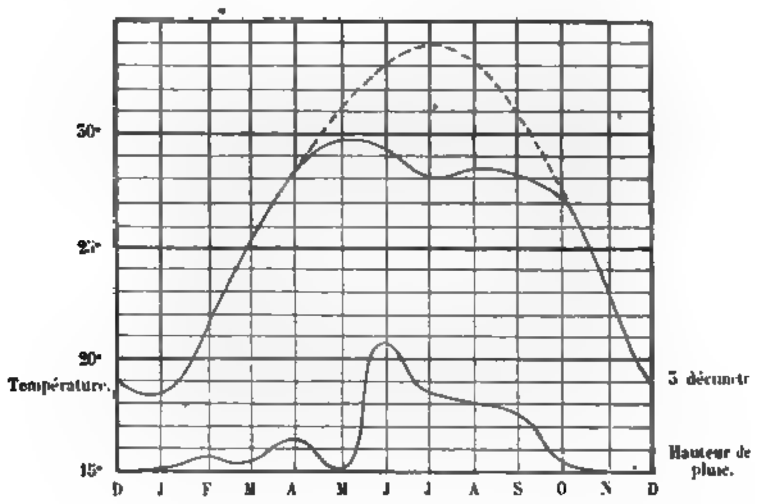


Fig. 57. — Courbes des moyennes mensuelles des températures et des hauteurs d'eaux pluviales, à Calcutta.

Nous donnons (fig. 57 et 58) les courbes des moyennes mensuelles d'eau tombée en deux points situés aux deux extrémités Nord et Sud de la région intertropicale de l'océan Indien, Calcutta et Saint-Benoît (île Bourbon). Dans la première ville, le maximum de pluie tombe en juin; la saison pluvieuse y dure de mai en septembre et la saison sèche d'octobre en mai. Dans l'autre ville, au contraire, la saison pluvieuse dure de novembre

en mai ; le mois le plus mouillé est le mois de janvier ; la saison sèche dure de la fin de mai en novembre. Dans l'un et l'autre cas, les inflexions secondaires de la courbe tiennent aux perturbations accidentelles.

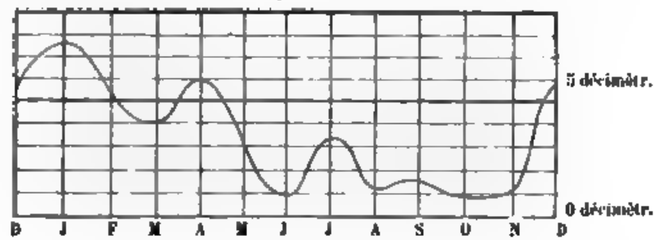


Fig. 58. — Courbe des moyennes mensuelles des hauteurs d'eaux pluviales, à Saint-Benoît (île Bourbon).

Dans la fig. 57, nous avons joint à la courbe des pluies la courbe des températures, afin de montrer l'influence de la première sur la seconde. La ligne pointillée rétablit la marche régulière de la température annuelle, la ligne pleine représente la marche vraie de la température : l'écartement de ces deux lignes en juin, juillet, août et septembre mesure le degré de rafraîchissement de l'atmosphère produit par les pluies. Le

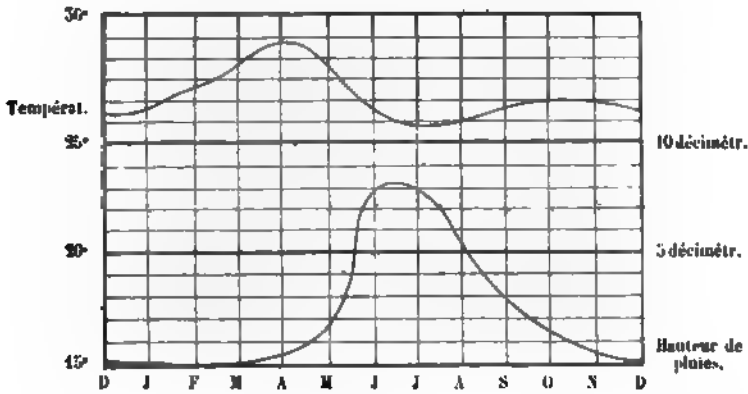


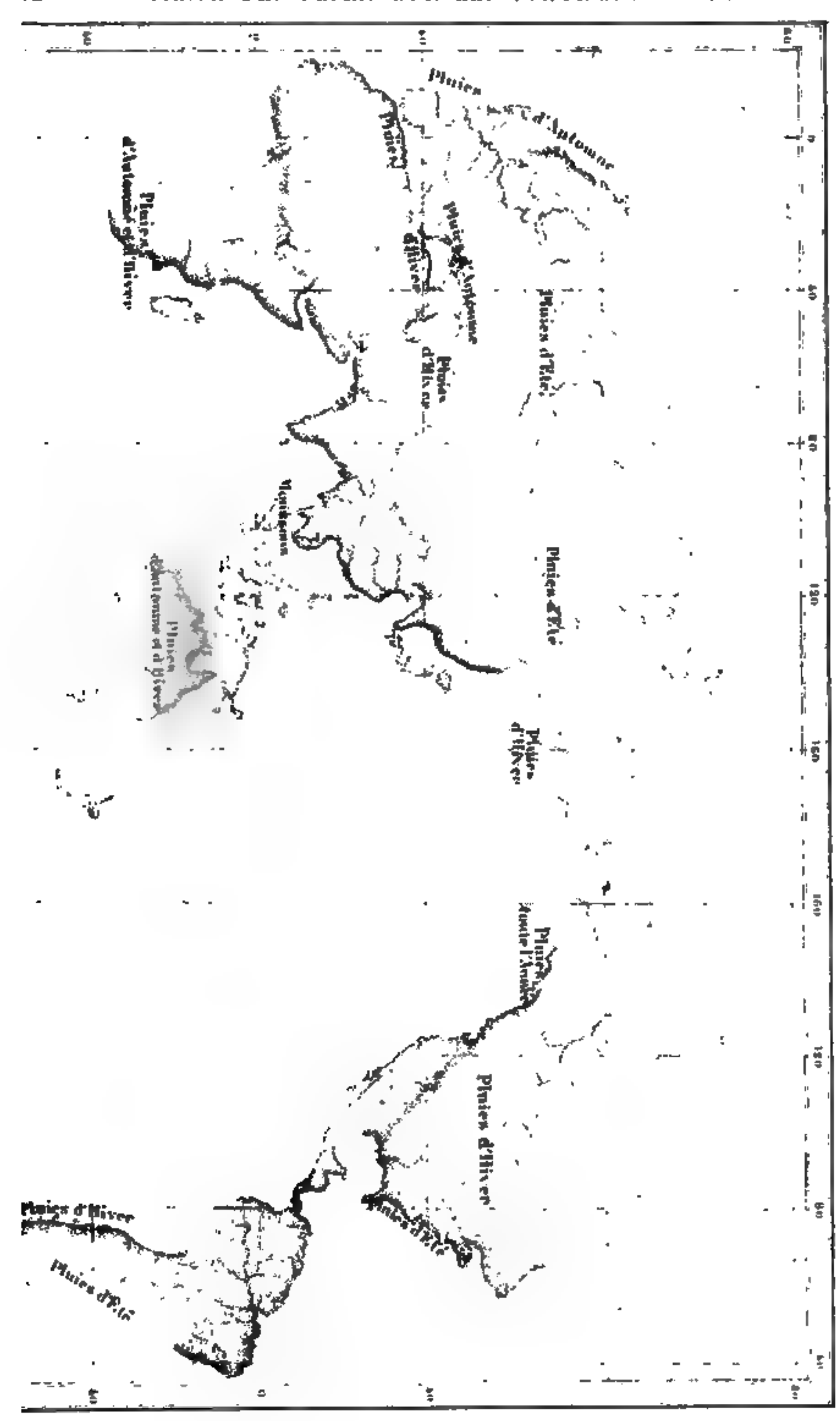
Fig. 59. — Courbes des moyennes mensuelles des températures et des hauteurs d'eaux pluviales à Anjarakandy.

phénomène est encore plus marqué dans la fig. 59, où la courbe inférieure est relative aux eaux pluviales et la courbe supérieure

aux températures. Le minimum de chaleur correspond au mois où la température devrait être la plus élevée : c'est aussi dans ce mois que les pluies sont les plus abondantes. Il s'en faut de beaucoup, cependant, que l'impression ressentie soit d'accord avec le thermomètre, particulièrement en mer.

Dans la région des alizés, des brises vivifiantes tempèrent l'ardeur d'un soleil presque vertical. L'air y est d'une dizaine de degrés au-dessous de la température de notre corps, et il est incomplétement saturé. Son renouvellement rapide autour de nous favorise la déperdition de la chaleur que nous produisons en excès et qui est emportée soit par le contact de l'air, soit par l'évaporation. Dans la zone des calmes, la brise est molle et incertaine, l'atmosphère est étouffante; on y éprouve un invincible sentiment de lassitude. La température s'est cependant à peine élevée de quelques degrés ; mais l'air est presque entièrement saturé, sa puissance d'évaporation est à peu près annulée, et la cause la plus active de déperdition de calorique dans ces chaudes régions ayant disparu pour nous, nous ne savons que faire de la chaleur qui ne cesse de se produire dans nos organes. Les bourrasques orageuses sont alors désirées par les marins, malgré le surcroît de travail qu'elles leur imposent ; ces bourrasques les soulagent, et d'autre part elles aident à franchir ces régions où les brises régulières font défaut. L'insalubrité de la zone des calmes est très-redoutée des navires chargés d'émigrants australiens ou californiens, qui y laissent plus d'une victime du climat.

Sur les continents, la température est beaucoup plus élevée qu'en pleine mer ; mais, pendant la saison sèche, l'air y est aussi beaucoup plus éloigné de son point de saturation. On peut alors supporter, sans trop de fatigue, une température diurne de 40 ou 45 degrés ; mais, pendant la saison humide, une température de 30 ou 35 degrés devient intolérable pour nous. L'eau dont le sol est sans cesse imprégné, jointe à la température



Pluies d'Automne
Pluies d'Hiver
Pluies d'Été
Moussons
Pluies toute l'Année

élevée, produit une végétation d'une merveilleuse richesse, mais en même temps une désorganisation rapide des produits végétaux ou animaux qui ont complété leur évolution vitale. Les miasmes de nature inconnue qui s'en dégagent engendrent des maladies redoutables même pour les indigènes. La saison des pluies intertropicales est désastreuse pour les Européens.

Ces pluies, du reste, sont d'une abondance sans exemple dans nos climats. La hauteur moyenne d'eau recueillie annuellement dans les environs de Paris est de 5 ou 6 dixièmes de mètre ; à Saint-Benoît, dans l'île de la Réunion (Bourbon), M. Maillard[1] en a recueilli 16^{m},5 en quatre ans, de 1846 à 1850, ce qui donne une moyenne annuelle de 4^{m},1. Le mois de janvier, à lui seul, en a donné 0^{m},74, c'est-à-dire autant qu'il en tombe à Paris pendant toute la durée de l'année la plus mouillée. A Saint-Joseph, dans la même île de la Réunion, la moyenne annuelle descend à 2^{m},1. Dans l'Inde, la quantité d'eau annuelle varie de 2 à 3 mètres ; elle est à peu près la même dans l'Amérique méridionale et la Sénégambie, variant du reste beaucoup suivant les localités. Si l'on considère qu'il ne pleut que pendant quelques mois et chaque jour durant quelques heures, le contraste avec les pluies de nos climats semblera plus frappant. Les gouttes d'eau sont énormes, très-serrées et arrivent à terre avec une grande force. Une seule averse peut donner 40 millimètres d'eau, ce qui dans nos pays produirait de véritables désastres. Dans l'intérieur des terres, cependant, l'abondance des pluies diminue d'une manière notable. A Seringapatam dans l'Inde, et à Bogota en Amérique, elle est à peine supérieure à celle des pluies de la France.

[1] *Annuaire de la Société météorologique de France*, 1853, t. Ier, p. 153.

§ II. — Déserts tropicaux.

Les contre-alizés supérieurs se refroidissent graduellement à mesure qu'ils progressent de l'équateur à la surface des deux hémisphères ; ils se rapprochent en même temps de la surface du globe, jusqu'au moment où ils forment les nappes tropicales descendantes pour se partager entre les alizés et les courants équatoriaux. Les nuages et les pluies reparaissent à partir de cette ligne de partage. Dans ce mouvement de descente, l'air marche encore du froid au chaud et sa vapeur garde son état gazeux ; mais la portion qui se dirige obliquement vers les pôles marche du chaud au froid ; elle arrive rapidement à son point de saturation, le dépasse et donne lieu à des condensations moins abondantes que dans les régions équatoriales, mais cependant encore supérieures à nos pluies du Nord de la France.

La ligne d'abaissement des alizés supérieurs suit à peu près dans ses oscillations annuelles la zone des calmes et des pluies de l'équateur, tout en restant à une distance de 25 à 30 degrés de cette dernière. L'arc parcouru par ces zones n'étant que de 10 à 15 degrés au maximum à la surface de l'Atlantique et du Pacifique, il en résulte qu'il existe sur ces Océans des bandes plus ou moins larges et régulières où ne pénètrent ni les pluies équatoriales ni les pluies tropicales, et où il pleut rarement et seulement par accident. Ces bandes se prolongent à la surface des continents et les pluies y deviennent encore plus rares : elles y constituent les déserts. Ces régions sont laissées en blanc dans la planche XVI, où nous avons cherché à proportionner sur les continents le degré de la teinte à l'abondance des eaux pluviales.

La ligne des déserts du tropique Nord commence à l'Ouest de

l'ancien continent, à une petite distance des côtes de l'Océan; les côtes reçoivent un peu d'eau apportée par les brises de mer. Cette ligne traverse l'Afrique dans toute sa largeur et n'y est interrompue que par de rares oasis et par la vallée du Nil, qui n'est elle-même qu'une oasis; elle couvre une grande partie de l'Arabie, le Sud de la Perse, la Boukharie et la Mongolie jusqu'aux monts Kingham. La position du Sahara et des déserts d'Arabie est régulière; à mesure qu'on pénètre dans l'Asie, la région sans eau se relève vers le Nord. Cette déviation tient d'une part à l'existence de l'océan Indien et aux moussons qui le traversent, et de l'autre à l'énorme étendue des terres qui séparent l'Atlantique de l'Asie centrale. Les vapeurs apportées par la mousson du S. O. sont condensées sur l'Inde, sur les Himalaya et sur les plateaux du Thibet; l'air apporté de l'Atlantique par les courants équatoriaux prolongés sur l'Asie a passé par de hautes latitudes où le froid l'a dépouillé de sa vapeur. L'eau ne peut donc arriver ni par le Sud, ni par le Nord ou l'Ouest, sur le désert de Gobi; et les vents d'Est n'y sont eux-mêmes que des transformations des courants polaires.

Le Sud de l'Afrique se termine en pointe à une petite distance du tropique du Capricorne; nous y trouvons cependant le désert de Kallyharry.

Le nouveau continent, dans ses régions tropicales, est trop étroitement resserré entre les deux grands Océans pour que les déserts y aient une bien grande étendue. On en retrouve toutefois des traces, au Nord dans la vieille Californie, et au Sud dans le désert du Nord de la Plata. L'absence de pluies sur les côtes du Pérou et leur abondance sur les côtes du Chili, ont une autre cause. Les côtes du Pérou sont sous l'influence des vents du S. E., vents de terre desséchés par les Andes péruviennes; le Chili est au contraire sous l'influence des vents de N. O. ou de O., qui sont des vents marins et humides. Ces derniers sont à leur tour desséchés par les Andes du Chili, et ils ne fournis-

sent que peu de pluie aux pampas de la Plata et au désert de la Patagonie. Il n'est pas jusqu'à l'Australie où, malgré l'eau qui l'entoure de toutes parts, on ne retrouve les déserts tropicaux. La circulation générale de l'atmosphère exerce donc une influence considérable sur les climats du globe. La configuration des continents et des mers, les grandes saillies du sol et les modifications qui en résultent dans le détail du régime des vents apportent la variété au milieu de ces grandes lignes de la climatologie, mais sans pouvoir en effacer les caractères essentiels.

§ III. — Pluies en dehors des tropiques.

Dans notre hémisphère, au Sud du tropique du Cancer ou de la zone des déserts qui lui correspond, les pluies sont estivales; elles surviennent dans la saison où le soleil est le plus rapproché du zénith. Au Nord, mais à une faible distance de cette zone, elles tombent au contraire dans la saison d'hiver, au moins dans les parties occidentales des continents. Cette opposition est rendue manifeste par les exemples suivants (fig. 60, 61, 62, 63, 64), où nous avons groupé les eaux pluviales non plus par mois, mais par saisons[1]. Une opposition semblable se présente des deux côtés du tropique de l'hémisphère Austral.

A mesure que l'on s'avance vers les pôles, le régime des pluies devient moins régulier, la sécheresse de l'été disparaît peu à peu, les pluies sont plus diffuses dans le cours de l'année, et l'on voit même un renversement se produire dans leur mode de répartition annuelle, comme le montrent les figures 65 à 74.

[1] L'année météorologique commence avec décembre; l'hiver se compose donc de décembre, janvier et février, et ainsi de suite pour les autres saisons.

Dans la région des Apennins et sur les côtes de Provence (fig. 65 et 66), le minimum d'été est encore très-marqué, mais

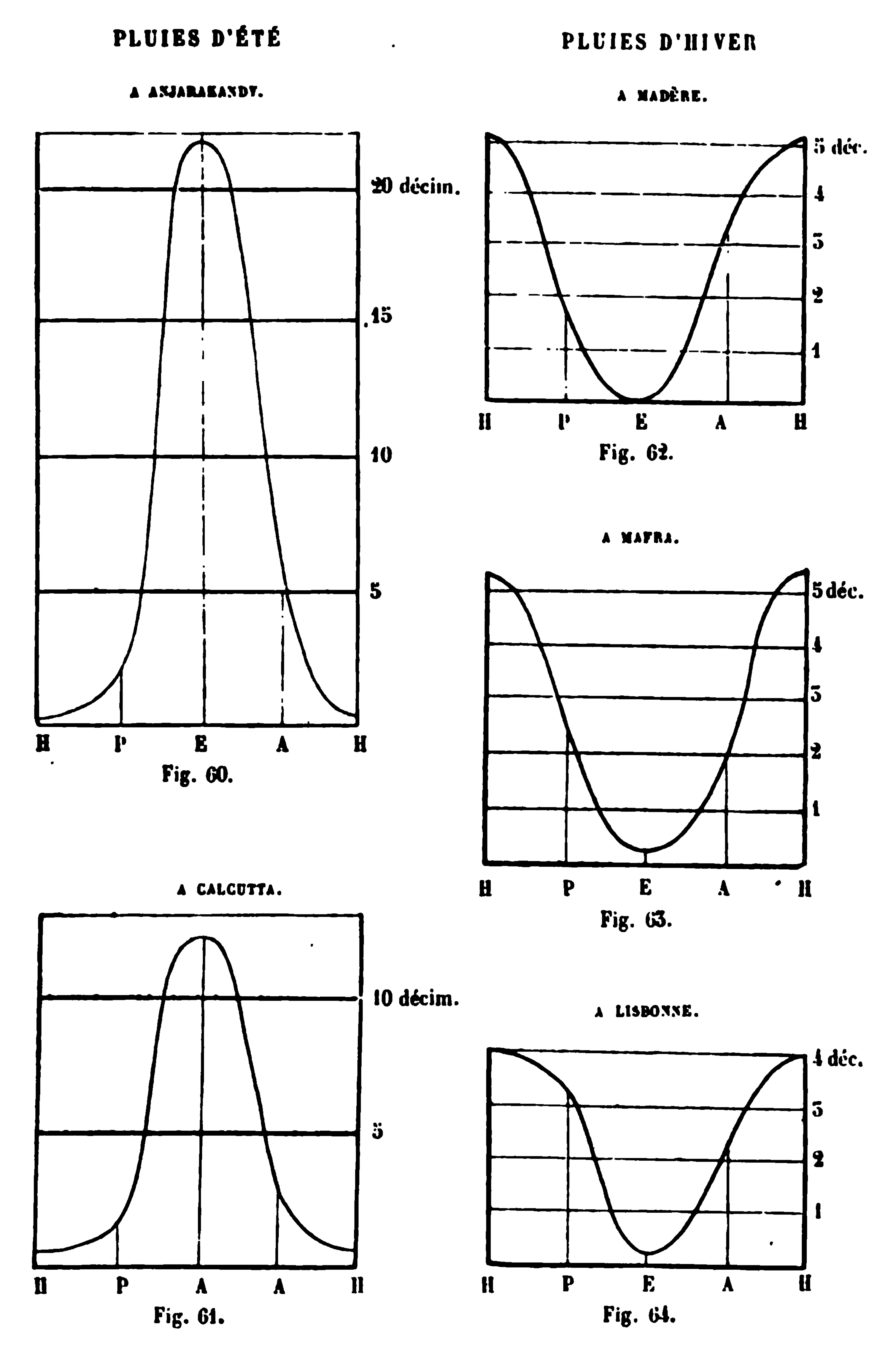


Fig. 60.
Fig. 62.
Fig. 63.
Fig. 61.
Fig. 64.

l'automne offre à côté un maximum tout aussi caractérisé ; au Nord de Viviers, dans le bassin du Rhône (fig 67), le minimum

d'été commence à disparaître; sur la France occidentale (fig. 68) et sur l'Angleterre (fig. 69 et 70), le minimum d'été est remplacé par un minimum du printemps; sur la France orientale, l'Allemagne, la Russie septentrionale (fig. 71 à 74), le minimum de pluie tombe en hiver, le maximum en été. C'est que nous sommes arrivés à des latitudes où les mouvements de l'atmosphère et la chute des pluies s'opèrent dans des conditions tout autres que dans les régions intertropicales.

Dans ces dernières, l'air chaud et fortement chargé de vapeur à la surface du sol est transporté par les courants ascendants dans les régions élevées de l'atmosphère. Pendant ce court trajet, sa température décroît rapidement et sa vapeur se résout en eau. Les pluies accompagnent ces courants ascendants partout où ils se produisent; elles font défaut dans les régions où les alizés rasent la surface terrestre.

A nos latitudes, les courants généraux se meuvent parallèlement à la surface du globe; les courants équatoriaux qui sont le plus chargés de vapeur d'eau passent d'une manière lente par des températures décroissantes et se dépouillent lentement aussi de leur vapeur, lorsque les mouvements tournants ou l'invasion des courants polaires ne brusquent pas la condensation en la localisant. Si le grand circuit extratropical était constant dans ses allures comme le circuit intertropical, nos pluies présenteraient encore une certaine régularité. La quantité d'eau successivement versée sur le trajet du circuit irait en diminuant depuis l'origine du courant équatorial sur l'Atlantique jusqu'à la fin de ses branches polaires à la surface de l'Europe orientale et de l'Asie centrale, et cette répartition est encore apparente, malgré les accidents qui l'altèrent.

Pendant l'été, la température décroissant beaucoup moins rapidement de l'équateur au pôle Boréal que pendant l'hiver, la vapeur s'y condense d'une manière moins prompte sur la route parcourue par le grand circuit atmosphérique,

ce dernier en conserve encore des quantités suffisantes

PLUIES DES RÉGIONS TEMPÉRÉES (EUROPE).

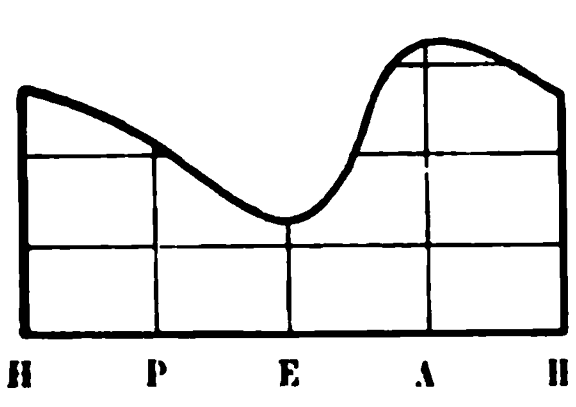


Fig. 65. — Bande des Apennins.

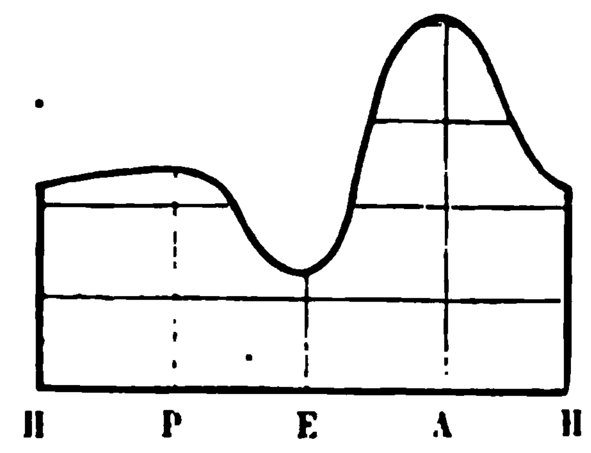
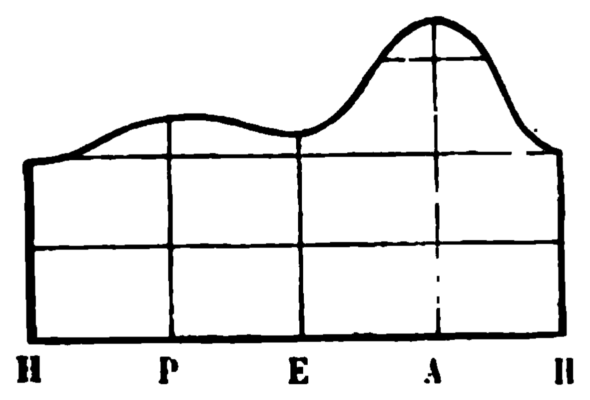


Fig. 66. — Bassin du Rhône au Sud de Viviers.



. 67. — Bassin du Rhône au Nord de Viviers.

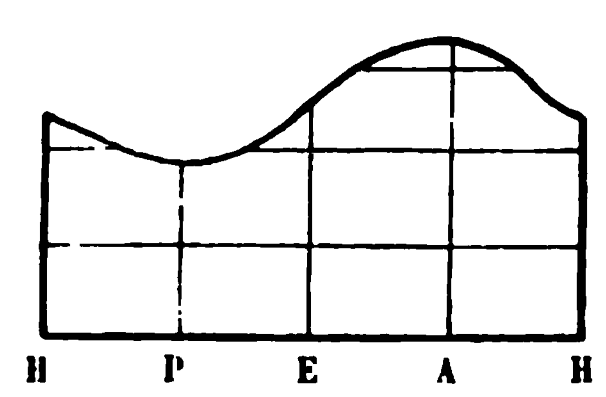
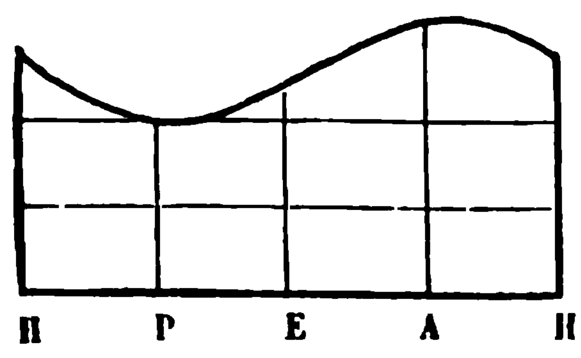


Fig. 68. — France Occidentale.



ig. 69. — Angleterre (côtes occidentales).

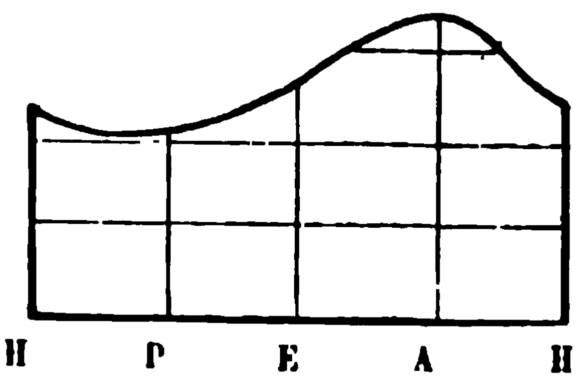


Fig. 70. — Angleterre (Intérieur de l').

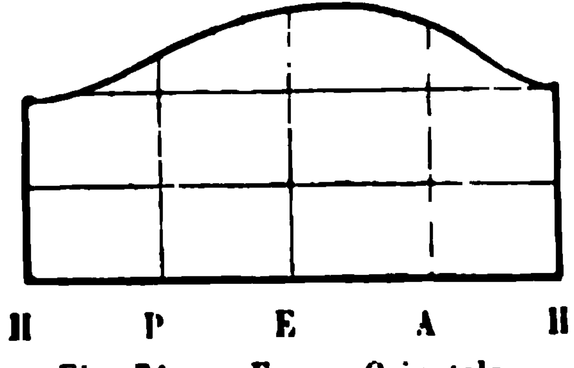


Fig. 71. — France Orientale.

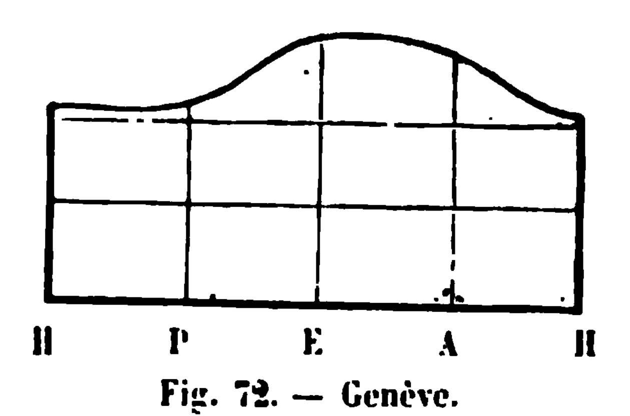


Fig. 72. — Genève.

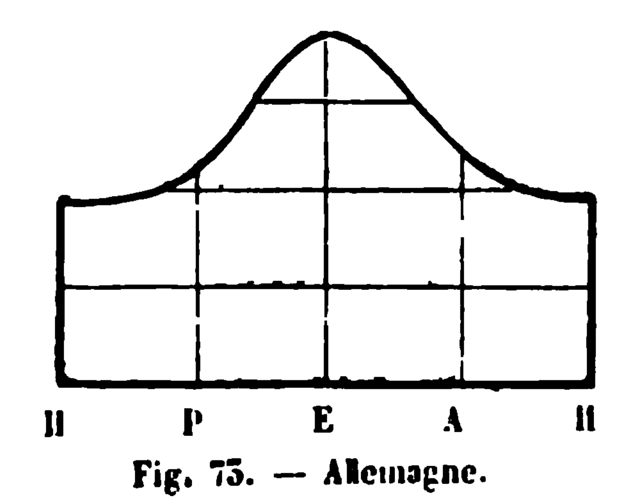


Fig. 73. — Allemagne.

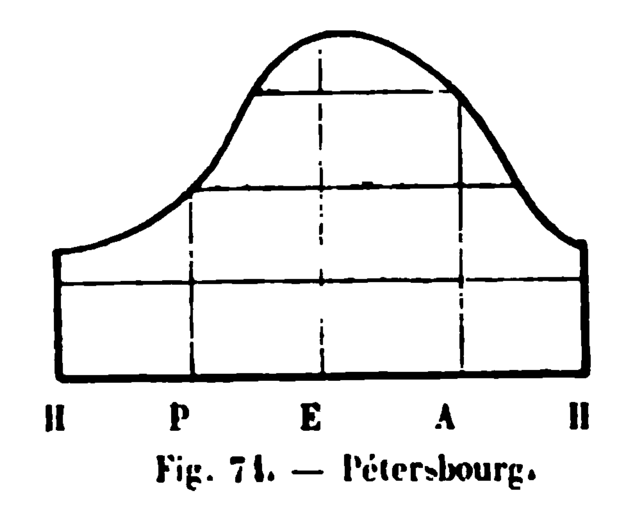


Fig. 74. — Pétersbourg.

our arroser l'Allemagne, la Russie et le Nord-Est de

l'Asie, où les pluies sont à leur maximum dans cette saison.

Au début de l'hiver, alors que l'hémisphère Austral s'échauffe et se dilate tandis que notre hémisphère commence à se refroidir, le courant équatorial acquiert un surcroît d'activité sur l'Atlantique Nord et nous apporte une surabondance de vapeur et de pluie dans la première partie de son parcours : de là le maximum d'eaux pluviales tombant en automne à la surface de l'Angleterre et de la France occidentale. Tout cela reste d'accord avec la répartition générale des pluies telle qu'elle ressort des figures 60 à 74; mais si nous multipliions et localisions nos exemples, et surtout si au lieu de prendre des moyennes de plusieurs années nous entrions dans le détail de chacune de ces années, nous verrions les irrégularités et les écarts apparaître avec toute leur importance.

Les grandes chaînes de montagnes transversalement placées sur le trajet du courant général, obligent ce courant à se relever pour franchir leurs sommets, et nous rapprochent des conditions observées dans les régions équatoriales : tel est en particulier l'effet produit par les Alpes scandinaves qui séparent la Suède et la Norwége. Le versant occidental de cette chaîne reçoit beaucoup plus d'eau que son versant oriental ; à Bergen, il en tombe annuellement $2^{m},25$, c'est-à-dire plus qu'en aucune autre ville de l'Europe, plus même que sur bien des points des régions équatoriales; en Suède, il ne tombe en moyenne que $0^{m},54$ d'eau. Le régime des pluies sur la Norwége est d'ailleurs analogue à celui de l'Angleterre et du Nord-Ouest de la France, tandis que sur la Suède il se rapproche de l'Allemagne et de la Russie du Nord. Des différences analogues, mais beaucoup moins tranchées, se retrouvent sur toutes les chaînes de montagnes disséminées sur l'Europe et l'Asie.

Dans la zone équatoriale, l'air chargé de vapeur monte naturellement vers les régions élevées et froides de l'atmosphère; dans nos climats tempérés, c'est l'air froid des couches supé-

rieures de l'atmosphère qui est entraîné violemment vers la surface terrestre par l'action des mouvements tournants. Il ne suffit pas, pour qu'il pleuve en France, que nous soyons sous l'influence des vents du S. O.; ces vents peuvent régner pendant une série de jours sans amener d'autre résultat qu'un ciel nuageux mais sans pluie. La température des lieux successivement parcourus par le courant aérien décroît trop lentement pour amener des condensations plus abondantes. Mais quand l'air de toutes les couches est mélangé brusquement, les pluies sont presque inévitables. Partout où passe une bourrasque en Europe, la pluie ou la neige l'accompagne, et depuis trois ans que nous suivons jour par jour l'état du ciel, nous ne voyons pas de chute de pluie ou de neige qui ne se rattache à quelqu'un de ces mouvements tournants. Il nous paraît évident que ce qui a lieu depuis trois années a eu lieu de tout temps et serait mis en évidence par des cartes synoptiques rétrospectives comme par les cartes actuelles. Chaque bourrasque laisse de son passage à la surface de l'Europe une trace d'autant plus mouillée qu'elle est moins éloignée de son point d'émergence dans l'Océan, qu'elle est située à une latitude moins élevée, que la température était antérieurement plus haute et que le mouvement tournant est plus intense. En dehors des effets produits par les saillies du sol et par la proximité des mers, les lieux où il pleut le plus souvent sont donc ceux dans le voisinage desquels les bourrasques passent avec le plus de fréquence. C'est dans le lit même du grand courant aérien, ou sur ses bords, qu'elles se propagent, en sorte que leurs trajectoires sont mobiles comme ce courant dont elles accusent le parcours; la prévision des variations du ciel est donc intimement liée pour nous à la prévision des bourrasques ou tempêtes.

Dans un même lieu et dans une même saison, la quantité d'eau pluviale recueillie varie dans de très-grandes limites d'une année à l'autre et d'un jour à l'autre d'une même année. C'est

que le courant équatorial de l'Atlantique éprouve des oscillations fréquentes dans l'amplitude du jet multiple qu'il forme à la surface de l'Europe et de l'Asie. Ses branches de retour vers l'équateur recouvrent tantôt une région, tantôt une autre dans l'Europe et l'Asie. Sur l'Europe occidentale en particulier, les courants polaires peuvent, à un moment donné, occuper la place où précédemment se développait le courant équatorial; la sécheresse alors succède à un temps humide ou pluvieux. Une sorte de balancement s'opère d'ailleurs entre les deux courants équatoriaux de l'Atlantique et du Pacifique Nords. Ces deux courants s'activent à peu près à la même époque, l'automne et l'hiver, et les tourmentes s'y développent presque parallèlement; mais ils n'atteignent généralement pas à la même hauteur vers le pôle. Le *Kuro Sivo*, le Stream du Pacifique, s'arrête au Nord vers le 45me ou le 50me parallèle, tandis que le *Gulf-stream* de l'Atlantique pénètre jusque dans l'Océan glacial par la large ouverture laissée entre le Groënland et la Norwége. Les courants équatoriaux, soutenus à la surface de ces courants marins par la chaleur qui s'en dégage, s'arrêtent à peu près aux mêmes limites, et l'air nécessaire pour combler le vide formé par le refroidissement, pendant l'hiver, de l'atmosphère du Pôle Nord lui est apporté plus encore par l'Atlantique que par le Pacifique; mais il arrive pendant certaines périodes, deux ou trois par siècle, que l'inverse a lieu sous l'influence de causes encore inconnues, mais que les cartes synoptiques finiront par mettre en lumière lorsqu'elles auront été prolongées à la surface de l'Atlantique et de l'Amérique septentrionale. Soit que le courant aérien se ralentisse accidentellement sur l'Atlantique, soit que des condensations surabondantes sur l'Est de l'Amérique le dévient vers le Nord et l'empêchent d'arriver sur nous, l'hiver devient exceptionnellement doux et pluvieux en Amérique, tandis qu'il est d'une rigueur extrême en Europe.

Les déplacements accidentels ou réguliers du lit du Gulf-

stream amènent aussi des variations correspondantes dans le régime des pluies en Europe, et des observations maritimes, semblent montrer que pendant l'année 1821, remarquable par son humidité, les eaux chaudes ont été beaucoup plus abondantes qu'à l'ordinaire sur les côtes occidentales de l'Europe. Ces déplacements eux-mêmes tiennent à une double cause : d'une part l'activité de la circulation océanique liée à l'action plus ou moins favorable des vents, de l'autre la plus ou moins grande abondance des glaces polaires. Chaque tempête produite à la surface du Gulf-Stream peut dévier accidentellement le cours de ses eaux et devenir indirectement une cause de changement dans la ligne de parcours des tempêtes ultérieures. L'arrivée d'une grande quantité de glaces flottantes dans les parages de Terre-Neuve, sur la rive gauche du Gulf-stream, refroidit cette rive et peut restreindre le volume de la branche du courant marin qui se dirige vers les mers polaires. Ces glaces refroidissent en même temps l'atmosphère qui les entoure et qui confine l'air chaud et humide situé à la surface du Gulf-stream. La proximité de ces deux masses d'air est elle-même une source de tempêtes.

C'est aux bourrasques et aux tempêtes, et particulièrement à la forme qu'elles affectent et aux oscillations de leurs lignes de parcours, qu'il faut attribuer surtout les variations du ciel dans nos climats.

Nous avons réuni dans la figure 75 les courbes des quantités d'eau recueillies mensuellement à Paris dans le cours de deux années, l'une (1816) réputée très-humide, l'autre (1863) réputée très-sèche ; nous y avons joint la courbe des pluies moyennes dans la même ville. La moyenne annuelle est de 50 centimètres environ sur la terrasse de l'Observatoire ; cette hauteur d'eau est descendue à 43 centimètres en 1863 et s'est élevée à 57 en 1816 [1].

[1] En 1864, elle n'a été que de 36^{c}6.

Ces différences ne sont pas à dédaiguer sans doute, mais elles seraient insuffisantes à expliquer l'opposition présentée par les années 1816 et 1865. La répartition des pluies dans les divers mois influe bien plus que leur quantité totale sur le caractère d'une année. Février, avril et octobre ont été secs en 1816, mais les mois les plus importants pour l'agriculture,

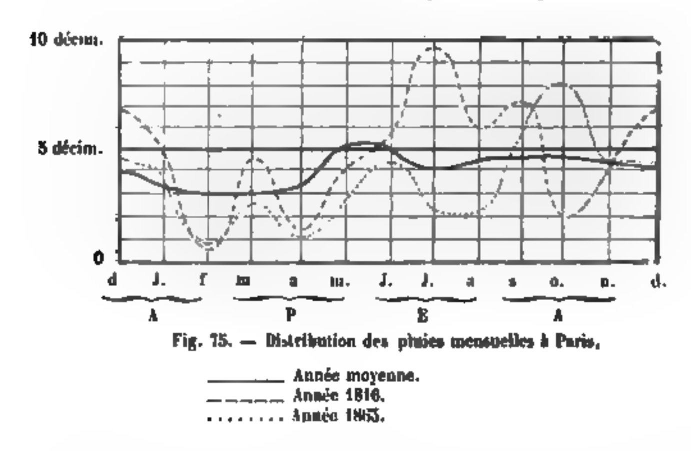


Fig. 75. — Distribution des pluies mensuelles à Paris.

_______ Année moyenne.
_ _ _ _ _ Année 1816.
. . . . Année 1865.

juin, juillet, août et septembre, y ont reçu beaucoup d'eau. En 1865, au contraire, février, mars, avril, mai, juin, juillet et août sont restés au-dessous de la moyenne ; janvier, septembre et surtout octobre se sont seuls élevés notablement audessus.

§ IV. — Du régime des cours d'eau.

Une partie de l'eau qui tombe à la surface du sol s'écoule directement vers les rivières et les fleuves dont elle augmente accidentellement le débit ; l'autre imprègne la terre, et ce qui n'est pas enlevé par l'évaporation ou la succion des plantes se réunit peu à peu dans les nappes souterraines pour reparaître au jour sous forme de sources et alimenter régulièrement les cours d'eau. Le débit annuel d'un fleuve représente donc an-

nuellement l'excès des eaux pluviales tombées à la surface du bassin drainé par le fleuve, sur la quantité d'eau qui s'évapore annuellement, sous toutes les formes, à la surface du bassin : nous supposons ici qu'aucune nappe souterraine ne vienne s'ouvrir directement sous la mer.

Trois causes principales interviennent ainsi dans le régime d'un fleuve ou d'une rivière : l'activité de l'évaporation par l'air ou par les plantes, la facilité avec laquelle les eaux pluviales s'écoulent à la surface du sol ou pénètrent dans ses couches superficielles ou profondes, l'abondance des pluies et leur répartition dans le cours de l'année.

L'évaporation est en rapport avec la température. Généralement faible en hiver, elle acquiert des proportions considérables en été, surtout pendant les beaux temps. Le sol se dessèche alors, et, quand survient une pluie, une grande partie des eaux sont absorbées par les terres superficielles et ne profitent ni aux sources ni aux rivières ; aussi, les cours d'eau descendent-ils dans cette saison à leur minimum de débit, malgré l'abondance des pluies estivales. Les divers terrains présentent sous ce rapport des différences bien tranchées [1]. Les uns, dits *terrains perméables* [2], absorbent les eaux pluviales au moment même de leur chute et à peu près en totalité, à moins qu'elles n'aient une violence exceptionnelle ; d'autres, dits *terrains imperméables* [3], laissent écouler à leur surface une grande partie de ces eaux, même lorsqu'elles sont peu abondantes. Les terrains perméables peuvent toutefois devenir imperméables *par position*, lorsque leur déclivité est trop prononcée, et les ter-

[1] *Étude des lois qui régissent les crues des cours d'eau*, par M. Belgrand, ingénieur en chef des eaux de Paris. *Ann. de la Soc. météor.*, t. Ier, p. 40 ; *Annales des ponts et chaussées*, sept. et oct. 1846, janv. et fév. 1852, etc.

[2] Ce sont, entre autres, les terrains oolithiques, la craie proprement dite, les plateaux tertiaires de la Beauce.

[3] Tels sont les granites, le lias, les grès verts, les terrains tertiaires les plus accidentés de la Brie et de la Puisaye.

rains imperméables peuvent absorber de grandes quantités d'eau lorsqu'après une longue sécheresse ils se sont fissurés à leur surface.

Au simple aspect et sans aucune notion géologique on peut aisément distinguer ces terrains les uns des autres. Dans les terrains imperméables, les prairies naturelles sont cultivées sur les coteaux comme au fond des vallées ; les sources lorsqu'il en existe, sont, comme les prairies, disséminées sur toute la surface du sol ; on y rencontre dans le moindre pli soit un ruisseau, soit un ravin où l'on trouve en toute saison des flaques d'eau entourées d'herbes aquatiques ou d'autres traces non moins certaines du passage fréquent des eaux sauvages. Dans les terrains perméables, au contraire, la culture des prairies est toujours confinée autour des cours d'eau, dans la partie plate et submersible du fond des vallées ; lorsque ces vallées ne sont pas arrosées par des sources, elles restent toujours sèches ; souvent elles sont cultivées jusqu'au fond sans qu'on ait réservé aucun moyen d'écoulement aux eaux pluviales ; lorsqu'il y existe un ravin, il est tapissé d'herbes qui témoignent de la rareté du passage de l'eau. Les premiers ont toujours un aspect riant et une certaine apparence de richesse, même lorsqu'ils sont médiocrement fertiles ; les autres ont toujours un aspect triste, même lorsqu'ils sont doués d'une grande fertilité. Le régime des cours d'eau est considérablement modifié par la nature des terrains qui dominent dans leurs bassins respectifs.

Les crues d'un cours d'eau à versants imperméables d'une étendue médiocre se composent d'une première partie courte et élevée due à l'écoulement des eaux torrentielles qui ont glissé à la surface du sol, puis d'une longue crue moyenne qui décroît lentement et régulièrement, et qui provient de l'*égoutture* des terres ou des sources. Le flot torrentiel de chaque affluent le parcourt d'une vitesse variable avec l'inclinaison du bassin où

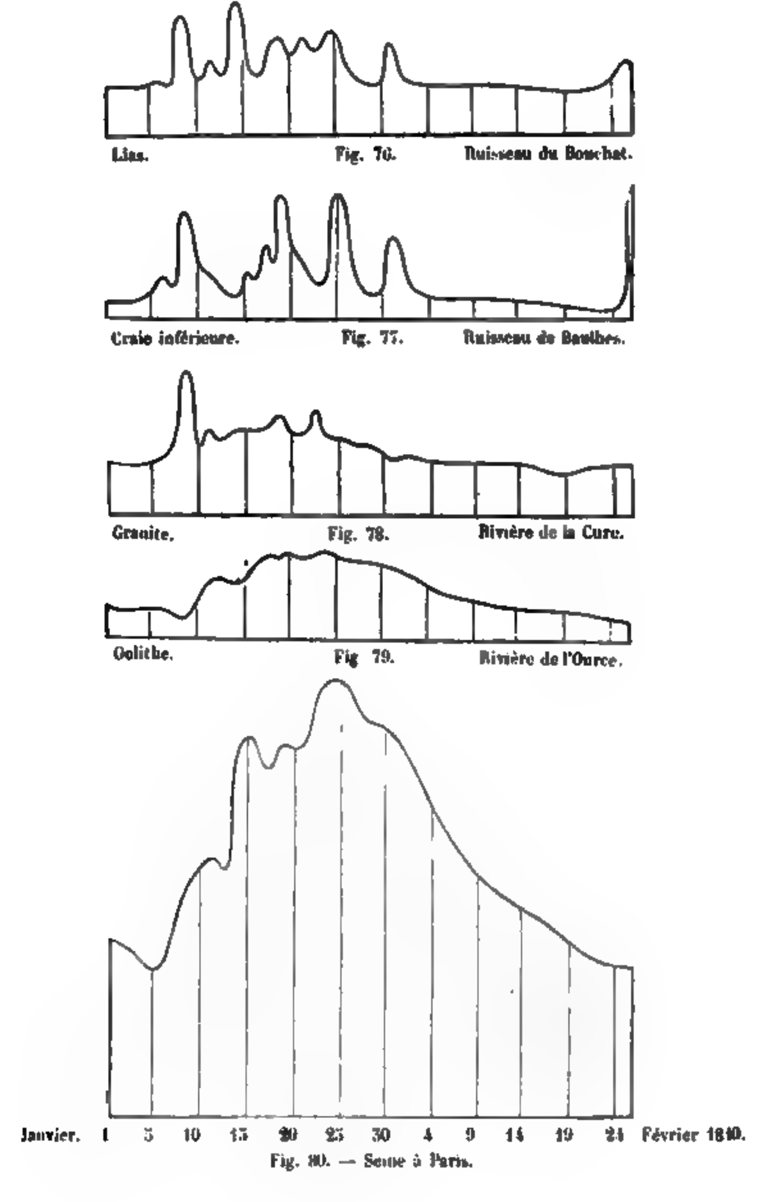
il s'alimente ; il arrive au cours d'eau principal après un temps qui dépend et de cette inclinaison et de la longueur du bassin. Comme d'ailleurs ces affluents débouchent à des hauteurs différentes du cours d'eau principal, la crue de ce dernier se compose de flots successifs se suivant de plus ou moins près et se fondant graduellement dans un flot unique mais beaucoup plus prolongé : cette fusion, toutefois, ne s'opère souvent qu'à une grande distance des lieux d'origine des divers flots.

Dans les cours d'eau à versants perméables, les crues s'élèvent lentement et régulièrement, et décroissent de même; elles sont donc toujours de longue durée, rarement de moins de trois semaines ou d'un mois. Cette durée même a pour effet de diminuer d'une manière très-notable la hauteur maximum des crues dans ces *cours d'eau tranquilles*.

D'ordinaire, chaque fleuve un peu important reçoit des cours d'eau à versants en partie perméables, en partie imperméables; le régime du fleuve est alors complexe et dépend des proportions existant entre les deux ordres de terrains. Lorsqu'un cours d'eau tranquille rencontre un cours d'eau torrentiel dont les versants sont au plus égaux aux siens en superficie, la crue torrentielle passe toujours la première au confluent : la crue tranquille s'ajoute à la crue moyenne du torrent. Lorsque le torrent a des versants beaucoup plus étendus, la crue torrentielle peut arriver au confluent en même temps que la crue tranquille qui présente alors des maximums courts plus ou moins prononcés. Dans le cas inverse, les pointes torrentielles s'effacent souvent et ne sont plus représentées que par quelques irrégularités au début de la crue.

Les figures 76, 77, 78, 79 et 80, empruntées au mémoire de M. Belgrand, nous fournissent un exemple des faits précédents correspondant à la grande crue de janvier et février 1840. Les rivières du Bouchat, de Baulhes et de la Cure sont trois affluents de l'Yonne; leurs crues ont éprouvé une série de va-

riations brusques dont on retrouve encore l'influence dans la



Lias. Fig. 76. Ruisseau du Bouchat.

Craie inférieure. Fig. 77. Ruisseau de Bauthes.

Granite. Fig. 78. Rivière de la Cure.

Oolithe. Fig. 79. Rivière de l'Ource.

Fig. 80. — Seine à Paris.

crue de la Seine à Paris. Dans l'Ource, au contraire, la crue

produite presque exclusivement par le gonflement des sources a duré presque aussi longtemps que celle de la Seine et n'a exercé sur celle-ci qu'une influence très-faible.

La Saône est comme la Seine une rivière tranquille, ses crues montent lentement et décroissent plus lentement encore. La Meuse est une rivière mixte ; toutes ses crues ont à peu près la même forme et se composent d'une longue crue tranquille surmontée de deux flots torrentiels qui passent successivement à Sédan à trois ou quatre jours de distance. Ce fait s'explique par la nature des versants de la rivière, qui sont composés de terrains oolithiques perméables, sauf sur deux points où il existe de grandes surfaces recouvertes de marnes supra-liasiques. La Loire est au contraire un fleuve essentiellement torrentiel dans toute sa partie supérieure où les terrains imperméables par nature ou par position l'emportent beaucoup sur les terrains perméables.

Toute la région Nord et Ouest de la France présente une homogénéité de climat très-remarquable ; le bassin de la Seine en particulier est soumis tout entier aux mêmes influences atmosphériques sous le rapport de la pluie. Les quantités d'eaux pluviales n'y sont pas égales partout ; elles diminuent généralement à mesure qu'on s'éloigne des côtes, pour commencer à croître de nouveau en s'avançant vers les rebords élevés ; mais généralement, lorsque la sécheresse s'établit en un point, elle règne partout à la fois ; lorsque le temps est pluvieux, il l'est dans toute l'étendue du bassin. Il en résulte que le niveau de tous les cours d'eau monte et baisse aux mêmes époques, et qu'on peut « prévoir une crue d'un ruisseau du Morvan au moyen d'observations faites sur un ruisseau de Normandie[1]. » La Loire, la Saône, la Meuse et la Seine entrent toujours en

[1] Belgrand, *Annuaire de la Société météorologique*, t. II, bulletin de la séance du 11 juillet 1864, et t. XIII, bulletin de la séance du 10 janvier 1865.

crue en même temps pendant la saison humide ; pendant la saison sèche, les pluies sont beaucoup plus locales et les crues qu'elles produisent sur un bassin peuvent manquer entièrement sur un autre : ces crues sont d'ailleurs très-peu importantes ou du moins très-circonscrites. La Garonne, la Dordogne et particulièrement le Rhône sont soumis à d'autres influences météorologiques[1].

Mais si l'observation régulière des hauteurs du plus faible affluent d'un cours d'eau dont on a étudié le régime permet de déterminer pour chaque point du cours d'eau l'heure du maximum d'une crue et même sa hauteur très-approchée, la mesure des quantités de pluie journellement recueillies conduirait beaucoup plus difficilement au même résultat, parce que les conditions du problème sont beaucoup plus complexes. L'abondance des eaux courantes est en effet très-loin de varier dans le cours d'une année proportionnellement à la quantité des pluies. Il faut encore tenir compte du degré de sécheresse ou d'humidité du sol, de la saison et même des années précédentes. L'année 1862 a été extraordinairement sèche jusqu'en mai. Les mois de juin, juillet, août, septembre furent, au contraire, très-pluvieux, et la quantité d'eau recueillie pendant ces cinq mois fut supérieure à la moitié totale de l'année, et cependant la Seine et ses affluents sont restés presque invariables ; deux faibles crues se manifestèrent seulement en juillet et septembre. Sous l'influence de pluies beaucoup moins grandes de décembre 1862 et de janvier 1863, les cours d'eau se relèvent et se soutiennent pendant tout le mois de janvier. La rareté des eaux courantes observée depuis 1857, et telle qu'on n'en trouve pas de pareille pendant les deux derniers siècles, tient donc beaucoup plus à une mauvaise répartition qu'à une

[1] Nous reviendrons avec de plus amples détails sur ces différences, dans le grand traité de météorologie auquel nous travaillons, mes collègues Fron, Sonrel et moi, et auquel ce présent ouvrage est une espèce d'introduction.

diminution des pluies sur la France; elle se trouve encore aggravée par une succession presque continue d'années sèches.

Rien n'indique, en effet, dans les observations udométriques que les pluies aient diminué d'une manière sensible sur le nord de la France en dehors des variations périodiques observées dans leur quantité. La pluie tombée sur la terrasse de l'Observatoire, de 1817 à 1827, est de $0^m,485$ en moyenne; de 1827 à 1837, elle est de $0^m,517$; elle est de $0^m,494$, en moyenne, de 1859 à 1865. Tandis que le centre et le nord de la France souffrent d'une disette d'eau dans les rivières, rien de pareil n'a lieu dans le Midi. Cette opposition se présente assez fréquemment dans un sens ou dans l'autre, entre les versants de l'Océan et de la Méditerranée.

La sécheresse actuelle dans le Nord-Ouest de la France n'est pas un phénomène particulier à notre époque. En ne tenant compte que du temps où des observations régulières ont été faites, on voit dans le régime de la Seine, à Paris, des périodes très-remarquables d'abondance et de rareté des eaux. Ainsi, de 1777 à 1800, la Seine ne descend qu'une fois en vingt-trois ans au-dessous de l'étiage; de 1800 à 1827, elle y descend une année sur trois; de 1827 à 1857, en faisant abstraction des années 1843, 1854, 1856, qui ne peuvent cependant pas être considérées comme années sèches, la Seine ne descend que tous les dix ans au-dessous de l'étiage; mais, depuis 1857, elle y descend tous les ans, et, en remontant jusqu'au commencement du dix-septième siècle, on ne trouve aucun exemple d'une aussi basse tenue des eaux.

En examinant les grands débordements de la Seine, on reconnaît aussi qu'ils sont devenus beaucoup plus rares dans ce siècle qu'ils ne l'étaient dans les siècles précédents; et si l'on pouvait en conclure qu'il pleut moins abondamment qu'autrefois, on ne pourrait, par contre, en inférer que le déboisement de la France est une circonstance favorable aux inondations. Voici

l'état des crues extraordinaires de la Seine, à partir de 1649, en ne tenant compte que de celles qui on dépassé la cote de 7 mètres à l'échelle du pont de la Tournelle[1] :

1649,	février,	hauteur maximum,	d'après Deparcieux,	7m 66
1651,	janvier,	—	—	7m 83
1658,	février,	—	—	8m 81
1690,	—	—	—	7m 55
1711,	mars,	—	—	7m 62
1740,	26 décembre,	—	d'après Bonamy,	7m 90
1764,	9 février	—	d'après Pasumot,	7m 09
—	—	—	d'après Buache,	7m 33
1802,	3 janvier,	registres de la préfecture,	suivant Bralle,	7m 45

Depuis cette dernière crue, la Seine n'a pas atteint la cote de 7 mètres.

Deux causes interviennent dans la diminution graduelle des grandes inondations de la Seine; l'une de ces causes, purement mécanique, doit tout d'abord être écartée. Le fleuve est aujourd'hui beaucoup mieux tenu qu'autrefois; les débris qui l'encombraient en quelques points ont disparu. D'un autre côté, les arches des anciens ponts étaient très-étroites, et, dans les fortes gelées, les glaces s'accumulaient facilement en amont et y formaient de véritables barrages. Chacun de ces barrages déterminait une retenue d'eau plus ou moins grande, et, au moment de la débâcle, cette retenue brusquement lâchée augmentait la hauteur de la crue d'aval qui croissait ainsi, de pont en pont, d'une manière extra-naturelle. Ainsi, en janvier 1795, la rivière, prise de glace depuis le 25 décembre 1794, était tombée à un niveau voisin du zéro de l'échelle. Le dégel et la débâcle survenus le 27 janvier font monter en deux jours le niveau de l'eau à la cote énorme de 5m,56 : deux jours après il tombait à 3m,75. Une pareille os-

[1] *Des grands débordements de la Seine à Paris*, par M. Belgrand, *Annuaire de la Société météorologique*, t. XII, p. 264 (1864).

cillation ne peut s'expliquer que par la rupture des barrages artificiels produits par les glaces. Jusqu'en 1830, les débâcles étaient considérées comme des phénomènes très-redoutables; des mesures étaient prises à chaque pont pour en empêcher la rupture. L'élargissement des arches pour les besoins de la navigation a diminué la hauteur des crues des grandes débâcles et l'a fait tomber graduellement de 5^{m}36 (février 1784) à 3 mètres (janvier 1830).

La seconde cause tient au mécanisme de la production des crues de la Seine, elles sont dues à la superposition plus ou moins complète des crues des affluents. Si ces crues sont nombreuses et qu'elles passent à la fois, la hauteur des eaux devient énorme; si elles sont peu nombreuses ou qu'elles passent l'une après l'autre, à des intervalles suffisants, le niveau de l'eau se maintient longtemps élevé, mais sans atteindre à des proportions très-exagérées.

Dès le commencement d'octobre 1740, une grande quantité de neige couvrait tous les pays traversés par le fleuve et ses affluents; le mois de décembre fut extraordinairement pluvieux pendant tout le temps du dégel. L'eau tombée dans les onze premiers mois, de janvier à novembre, ne s'élevait qu'à 0^{m},446, quantité très-ordinaire; en décembre seul elle monta à 0^{m}137. L'inondation fut générale en France. Celle du bassin de la Seine a été produite par cinq crues des affluents. Chacun de ces phénomènes a été très-ordinaire et peut se reproduire presque tous les hivers; il n'y a eu d'extraordinaire que l'ordre entièrement fortuit dans lequel ils se sont manifestés.

La grande crue de 1801-1802 est remarquable à ce point de vue; elle n'est due à aucun grand phénomène météorologique, mais à une continuité extraordinaire de pluies dont les dernières seules ont dû avoir une assez grande intensité. Quinze petites crues des affluents ont eu lieu successivement, séparées en quatre groupes par des intervalles de huit, onze et dix-huit

jours correspondant à trois décrues du fleuve. Si ces intervalles avaient été réduits à cinq ou six jours, la crue du fleuve aurait atteint une hauteur de beaucoup supérieure à celle du 27 février 1658. Évidemment ce n'est pas dans des circonstances locales de culture ou de boisement qu'il faut rechercher les causes de cet arrangement des crues partielles. Nos pluies sont le résultat de mouvement généraux de l'atmosphère. Ces courants naissent et se propagent loin de nous, les oscillations qui se produisent dans leur lignes de parcours tiennent à des influences réparties sur toute la surface de notre hémisphère, et une région d'une aussi faible étendue que la France ne peut avoir qu'une part d'action presque imperceptible sur elles.

Les courants généraux étant donnés, l'état hygrométrique des masses d'air qui traversent la France étant déterminé, on peut se demander si les forêts ne favorisent pas la condensation des vapeurs et la chute des pluies, et si, d'autre part, le boisement du sol n'exerce pas une action marquée sur l'écoulement des eaux pluviales.

Sur le premier point, rien ne montre qu'il tombe moins d'eau en France dans le siècle présent que dans les siècles passés. Depuis quelques années, il est vrai, la somme annuelle de pluie a diminué; mais, aux époques antérieures, on trouve des périodes de sécheresse pareille toujours suivies de périodes humides. Remarquons d'ailleurs que ce sont les neiges et les pluies d'hiver qui font surtout défaut aux sources; or, en hiver, la plupart des arbres de nos forêts ont perdu leurs feuilles, et l'époque où leur influence devrait être la moins prononcée est justement celle où le changement attribué à leur disparition est, au contraire, le plus grand.

Sur le second point, il existe encore en France assez de forêts pour que l'on puisse comparer l'écoulement des eaux pluviales sur les terrains boisés à cet écoulement sur les terrains non

boisés. Cette comparaison a été faite par M. Belgrand[1] à un point de vue qui nous paraît d'une grande justesse. Sur toutes les rivières de France non alimentées par les glaciers, le régime des grandes eaux se présente toujours en hiver, et celui des plus basses eaux en été. La plus grande crue et la plus grande tenue d'eau moyenne ont toujours lieu du 15 octobre au 15 mai, les plus basses eaux et la plus faible tenue d'eau du 15 mai au 15 octobre. Les exceptions à cette règle sont extrêmement rares.

Pour régulariser le régime d'un cours d'eau, il faut donc :

1° Égaliser entre l'hiver et l'été le tribut que les eaux pluviales donnent aux thalwegs et aux sources;

2° Diminuer la hauteur des crues et augmenter celle des basses eaux, ou retarder le ruissellement de la partie des eaux pluviales qui doit atteindre directement les thalwegs.

L'augmentation de la portion totale des eaux d'hiver ne peut être, dans aucun cas, considérée comme une régularisation du régime d'un cours d'eau. De plus, cette modification ne doit presque jamais être utile, et, dans beaucoup de cas, elle peut avoir de graves inconvénients, puisque c'est presque toujours dans cette saison qu'ont lieu les grandes crues; l'accroissement de la tenue d'eau d'été serait au contraire avantageuse, car les eaux d'été sont aussi précieuses que celles d'hiver le sont peu.

Les observations faites par M. Belgrand sur deux rivières torrentielles, le Cousin, dont le bassin est boisé au tiers, et le Ru de la Grenetière, dont le bassin est entièrement boisé, ont fourni des résultats semblables. Du 17 novembre 1850 au 1er mai 1853, les plus basses eaux du ruisseau de la Grenetière ont été de 9 litres par seconde en hiver, et 0 en eté; les plus hautes eaux ont été de 750 litres en hiver et de 149 en été. Or,

[1] *Influence des forêts sur l'écoulement des eaux pluviales*, par M. Belgrand, *Annuaire de la Société météorologique*, 1853, t. Ier, p. 176.

dans cet intervalle les deux hivers ont été très-secs et l'été très-pluvieux. Dans ce bassin, complétement boisé, les passages du régime d'hiver au régime d'été, et réciproquement, ont lieu en mai et octobre comme dans les bassins déboisés; dans les uns et les autres, pour qu'une crue ait lieu en été il faut que la pluie qui la produit soit précédée d'une longue série de temps pluvieux qui préparent le sol. Si une très-forte pluie tombe après une longue sécheresse, il n'y a que peu ou point de crue. Dans les terrains boisés, la partie des eaux pluviales qui arrive jusqu'aux ruisseaux est fort insignifiante l'été et très-considérable l'hiver. On ne doit donc pas attendre du reboisement une égalisation entre l'été et l'hiver du tribut que la pluie apporte aux thalwegs, en tant du moins que le reboisement aurait lieu avec des essences à feuilles caduques.

M. Belgrand est arrivé à un résultat semblable pour les sources, dans ses expériences faites sur l'Ource, rivière presque entièrement alimentée par des eaux souterraines. D'immenses forêts occupent les deux tiers ou peut-être les trois quarts de son bassin. Les pluies d'été n'y profitent pas plus aux sources qu'aux thalwegs, et la rivière elle-même disparaît quelquefois complétement dans une partie de son cours. En hiver, au contraire, et au printemps, de véritables inondations ont lieu presque chaque année; beaucoup de sources des terrains oolithiques boisés ne coulent que l'hiver, et souvent même pendant quelques jours seulement, aux époques des grandes pluies. Les pluies douces de la saison humide, et surtout les neiges abondantes suivies d'un dégel progressif, sont la véritable origine des eaux courantes. Les sources dont le débit est constant sont celles qu'alimentent des nappes souterraines de grande étendue rassemblées dans des couches perméables dont les lignes d'affleurement ont un développement considérable. Les crues de la Champagne pouilleuse, terrains déboisés, sont insignifiantes; et, suivant M. Doré, le niveau des eaux de l'Ardus-

son, principal affluent de la rive gauche de la Seine, en Champagne, ne varie que de 0^m^20 dans les plus fortes crues.

Tous ces faits peuvent s'expliquer très-simplement. Les terrains nus ou simplement gazonnés sont, il est vrai, moins préservés de l'évaporation par l'air, en été, que les terrains couverts de bois touffus; mais aussi ces derniers sont abrités de la pluie comme ils le sont du soleil. Les feuilles mouillées se dessèchent vite, et, de plus, elles donnent lieu à une évaporation continuelle qui enlève au sol des quantités d'eau considérables. Pendant l'hiver, au contraire, les arbres dépouillés de leur verdure, n'enlèvent presque rien au sol et y laissent arriver presque toute l'eau des pluies; ils conservent encore cependant une partie de leur propriété d'arrêter les mouvements de l'air et de ralentir l'évaporation directe du sol. La seule utilité réelle du reboisement par les essences à feuilles caduques est donc de faire obstacle au ravinement des terres et de rendre productifs des terrains qui ne le sont pas. A ce point de vue, la conservation des bois et le reboisement peuvent dans certains cas, particulièrement dans les pays montagneux, s'élever à la hauteur d'une question d'utilité publique. M. Surell [1] a montré d'une manière très-nette que l'immense dévastation causée par les torrents dans les Alpes françaises tient à deux causes, le déboisement et la destruction de toute végétation herbeuse par l'abus du pâturage.

Les observations de M. Belgrand portent exclusivement sur les bois à feuilles caduques. L'effet produit par les arbres résineux est moins bien connu; il est très-probable qu'ils ont une influence beaucoup plus marquée sur les crues d'hiver. Quant à leur influence sur le ravinement des terres, elle est incontestable. On est souvent frappé, dit M. Surell, en parcourant le

[1] *Études sur les torrents des hautes Alpes*, par Alexandre Surell, ingénieur des ponts et chaussées.

département des Hautes-Alpes, par l'aspect d'un monticule aplati placé à la sortie d'une gorge, et dont la surface est dressée en éventail suivant des pentes très-régulières : c'est le lit de déjection d'un ancien torrent. Le long du monticule découle un petit ruisseau qui sort de la gorge et traverse paisiblement les champs : c'est lui qui formait l'ancien torrent. Ces faits ne laissent aucun doute sur les avantages du reboisement dans ces conditions. M. H. Pellaut, dans son *Traité des irrigations*, a proposé, dans le même but, l'emploi de fossés disposés horizontalement et de niveau sur les flancs des montagnes.

CHAPITRE XII

LES ORAGES

Les tempêtes sont accompagnées, même dans les régions du Nord, par des phénomènes électriques plus ou moins apparents. Cette coïncidence est particulièrement remarquable dans les régions tropicales où les orages acquièrent une extrême énergie; aussi beaucoup de météorologistes ont-ils été conduits à considérer l'électricité comme la cause plus ou moins directe de toutes les perturbations atmosphériques. Nous ne partageons pas cette opinion extrême et nous considérons, au contraire, les orages comme étant fréquemment un simple effet des mouvements tournants de l'air; nous reconnaissons toutefois qu'ils peuvent, à leur tour, engendrer des mouvements secondaires, circonscrits dans leur étendue, mais d'une grande violence : telles sont les trombes, les tornades, etc. Nous devons donc faire précéder l'examen de l'origine des tempêtes, par l'étude des mouvements électriques de l'atmosphère.

§ Ier. — Origine électrique des orages.

La première étincelle électrique, tirée de l'ambre par Wall, fut immédiatement comparée aux éclats de la foudre. « Cette

lumière et ce craquement, dit Wall, paraissent en quelque façon représenter l'éclair et le tonnerre. »

La même analogie se trouve exprimée dans les *Leçons de physique* de l'abbé Nollet (1771). « Si quelqu'un, dit Nollet, après avoir comparé les phénomènes, entreprenait de prouver que le tonnerre est entre les mains de la nature ce que l'électricité est entre les nôtres ; que ces merveilles, dont nous disposons maintenant à notre gré, sont de petites imitations de ces grands effets qui nous effrayent ; que le tout dépend du même mécanisme ; si l'on faisait voir qu'une nuée préparée par l'action des vents, par la chaleur, par le mélange des exhalaisons, est vis-à-vis d'un objet terrestre ce qu'est un corps électrisé en présence et à une certaine proximité de celui qui ne l'est pas; j'avoue que cette idée, si elle était bien soutenue, me plairait beaucoup : et pour la soutenir, combien de raisons spécieuses ne se présentent pas à un homme qui est au fait de l'électricité ! »

Cette idée préoccupait, en effet, tous les physiciens du siècle dernier, et le 7 novembre 1749[1], Franklin résumait sur son livre de laboratoire toutes les analogies qu'on avait remarquées entre la foudre et le fluide électrique. Mais le physicien américain, allant plus directement au but, ajoute : « Le fluide électrique est attiré par les pointes. Nous ne savons pas si la foudre a cette propriété. Il serait à propos d'en faire l'expérience. » Quelques mois après, Franklin développait complétement ses opinions sur l'origine de la foudre, dans deux lettres adressées à P. Collinson[2]. Il était tellement convaincu de l'exactitude de ses opinions, qu'il indiquait un moyen de préserver de la foudre les églises, les maisons, les vaisseaux, etc. Cette partie de sa lettre est une description succincte du paratonnerre,

[1] *Œuvres de Franklin*, traduction de Barbeu Dubourg. Paris, 1773, t. Ier, p. 185.

[2] *Loco cit.*, p. 38 à 80.

tel qu'on le construit de nos jours. Mais avant tout, Franklin voulait qu'on s'assurât directement si les nuées orageuses sont électrisées ou non ; il exposait d'une manière complète le procédé expérimental qui devait servir à vider cette grande question, et tout en invitant les physiciens à tenter l'expérience, il attendait, pour l'exécuter lui-même, la construction projetée d'un clocher à Philadelphie.

Les idées de Franklin furent assez mal accueillies en Angleterre; Dalibard les réalisa le 10 mai 1752, à Marly-la-Ville. Dans un jardin situé au milieu d'une plaine élevée, il fixa solidement, sur un support isolé, une barre de fer ronde de 27 millimètres de diamètre à la base, de 13 mètres de hauteur et terminée par une pointe d'acier trempé et poli. Au moment où des nuages orageux passèrent au zénith, la barre s'électrisa assez fortement pour donner de longues et brillantes étincelles. L'état électrique des nuages se trouvait ainsi démontré. Cette expérience fut répétée de toutes parts, et partout avec le même succès.

Dans le courant de la même année, Franklin, impatient des lenteurs apportées à la construction du clocher qu'il attendait, imagina qu'un cerf-volant pourrait lui servir au même usage, et, profitant du premier orage, il s'en fut dans les champs, seul avec son fils, « craignant le ridicule dont on ne manque pas de couvrir les essais infructueux. » Le cerf-volant fut lancé, la corde qui le retenait étant fixée au bout d'un support en verre; un nuage qui promettait beaucoup ne produisit aucun effet; d'autres nuages s'avançaient et tout paraissait tranquille : on ne voyait ni étincelle ni aucun signe électrique. A la fin cependant, une pluie fine étant survenue, quelques filaments se soulevèrent sur la corde comme s'ils en étaient repoussés; un petit bruissement se fit entendre; Franklin présente son doigt, une vive étincelle, bientôt suivie de plusieurs autres, s'échappe de l'extrémité inférieure de l'appareil, rendu

conducteur de l'électricité par l'eau qu'il a reçue. Cette expérience eut lieu en juin 1752.

En juin 1753, un magistrat français, de Romas, assesseur au présidial de Nérac, connaissant l'expérience de Dalibard, mais ignorant encore l'expérience de Franklin, eut, comme ce dernier, l'idée de se servir du cerf-volant. Il eut soin de garnir d'un fil métallique la corde de son instrument et obtint immédiatement des signes électriques très-énergiques. Il répéta cette expérience en 1757 pendant un orage; les effets furent formidables. « Imaginez-vous de voir, dit de Romas, des lames de feu de neuf ou dix pieds de longueur et d'un pouce de grosseur, qui faisaient autant et plus de bruit que des coups de pistolet. En moins d'une heure j'en eus certainement trente de cette dimension, sans compter mille autres de sept pieds et au-dessous. » Malgré ses précautions, il fut une fois renversé par la violence du choc. Richmann, de l'Académie de Saint-Pétersbourg, fut foudroyé en répétant l'expérience de Dalibart.

§ II. — **Électricité de l'atmosphère.**

Lorsqu'on eut constaté l'existence de l'électricité dans les nuages orageux, on rechercha quelle pouvait en être l'origine, et l'on ne tarda pas à reconnaître la présence de cet agent dans l'atmosphère, même en l'absence de toute espèce de nuage. Le Monnier fit à Saint-Germain, dès la fin de septembre 1752, une série de recherches intéressantes à ce sujet[1], en faisant usage de la barre de Franklin. De Saussure se servit dans ses excursions sur les montagnes d'un petit électroscope à balles de sureau représenté fig. 81. La partie supérieure de la cloche de verre est recouverte d'un vernis isolant; sa section

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1752, p. 233.

transversale est rectangulaire; sa tubulure est traversée par une tige métallique portant les deux balles de sureau suspendues à son extrémité inférieure par deux fils de platine très-fins et très-mobiles; à son extrémité supérieure est un chapeau de laiton D, destiné à mettre l'appareil à l'abri de la pluie. Au-dessus du chapeau on visse une tige T, terminée en pointe, de 60 centimètres de hauteur et généralement divisée en trois parties, pour rendre l'appareil plus portatif. Sur l'une des faces de la cloche est gravé un arc de cercle divisé en degrés, et servant à mesurer l'écartement des balles de sureau. Volta remplaçait les pendules de Saussure par deux longues pailles très-minces, très-sèches et très-mobiles autour de leurs extrémités supérieures.

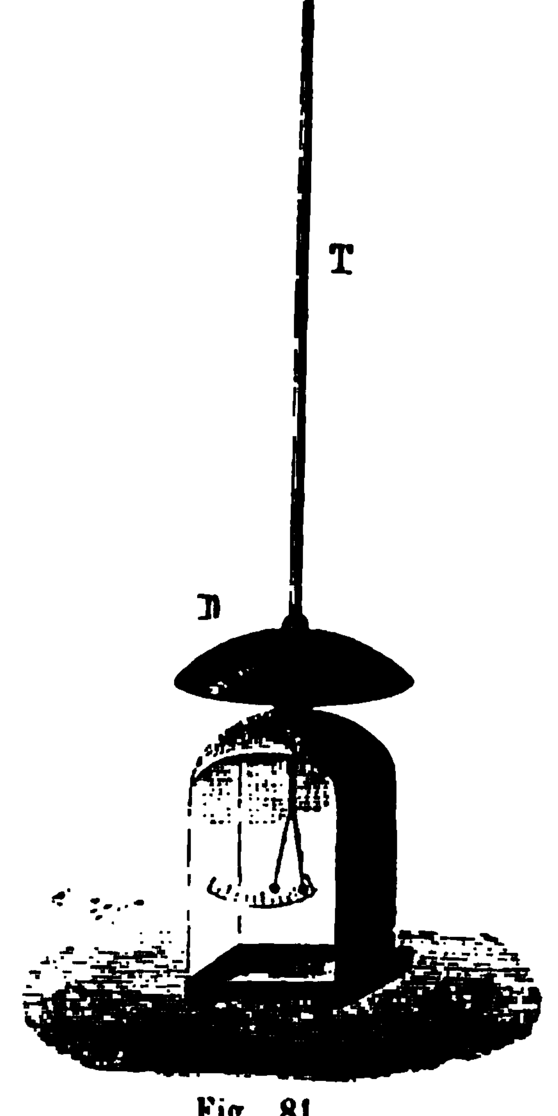


Fig. 81.

Peltier, à qui l'on doit d'importants travaux sur l'électricité atmosphérique, fit usage d'un autre appareil, adopté aussi par M. Quételet pour les observations sur l'électricité atmosphérique faites régulièrement à l'Observatoire royal de Bruxelles. Nous en donnons le dessin fig. 82. Sur le milieu d'une cage cylindrique de verre s'élève une tige métallique AB, surmontée d'une boule C, creuse et d'un décimètre environ de diamètre. Sur le milieu de la tige est fixé un chapeau destiné, comme dans l'électromètre de de Saussure, à préserver la cage des eaux pluviales. Le conducteur AB se continue dans la cage, par l'intermédiaire d'un anneau en cuivre D, jusqu'à la tige horizontale et fixe EF. La partie inférieure de l'anneau est armée d'une pointe d'acier sur laquelle repose une chape métallique

portant une très-petite aiguille aimantée *c d*, et une autre aiguille métallique très-légère *a*,*b*, recourbée de manière que ces deux extrémités soient dans le même plan horizontal que l'aiguille EF. L'aimant remplace ici la pesanteur pour ramener l'aiguille mobile dans une direction constante quand aucune force ne l'en écarte. L'appareil est orienté de telle façon que l'aiguille mobile *a b* se place naturellement très-près de l'aiguille fixe EF. Dans ces conditions, si l'on approche un corps électrisé de la boule C, les deux aiguilles fixe et mobile s'électrisent par influence de la même manière que le corps, une répulsion a lieu entre elles, et la pièce mobile s'écarte angulairement jusqu'à ce que la répulsion soit équilibrée par l'aimant qu'elle éloigne avec elle du méridien magnétique. Un cercle gradué, dont l'appareil est muni, sert à mesurer cet écart[1].

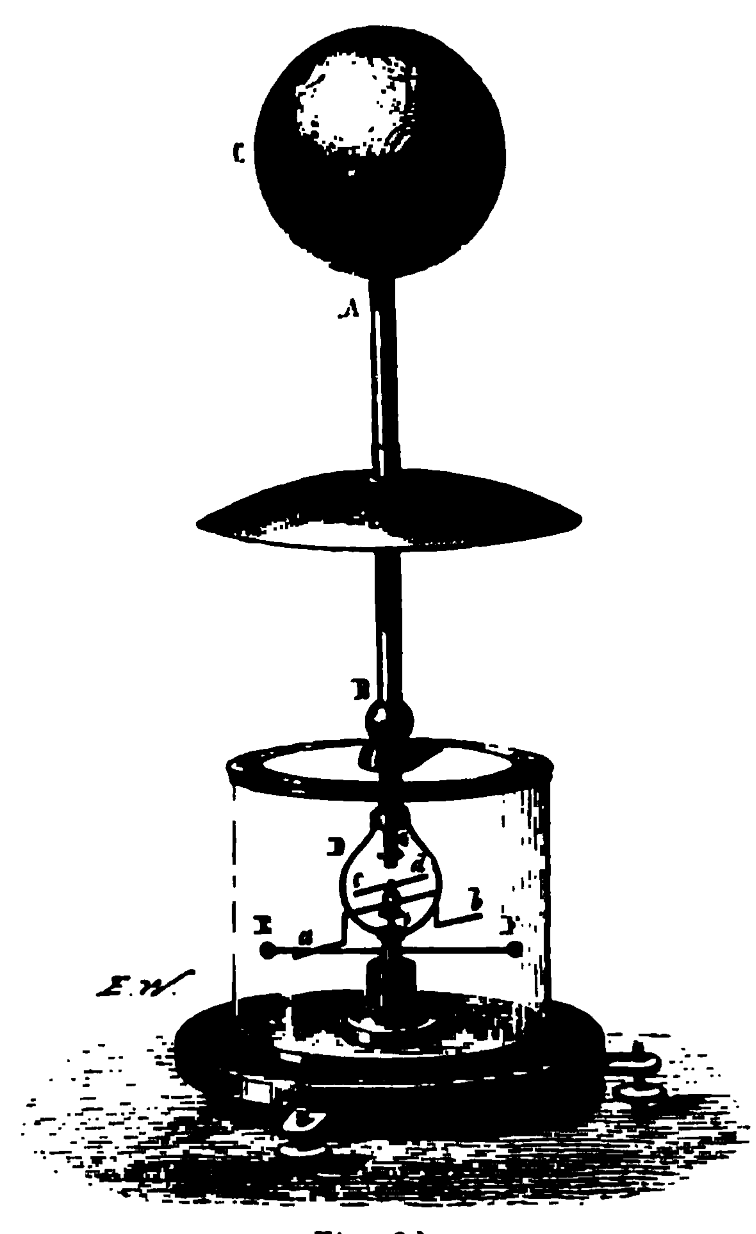


Fig. 82.

[1] Les corps peuvent être électrisés de deux manières distinctes, comme le verre et la résine frottés par de la laine : on dit généralement qu'ils peuvent prendre deux électricités différentes auxquelles on a donné le nom d'*électricité positive* ou *vitrée*, et d'*électricité négative* ou *résineuse*. On admet que tous les corps contiennent ces deux électricités réunies en proportions telles, que leurs propriétés inverses se neutralisent dans un *fluide neutre*. Le fluide neutre peut être partagé en ses deux éléments constituants sous l'influence de causes diverses. Dans le frottement du verre par la laine, le verre prend l'électricité positive, et la laine l'électricité négative : la séparation des deux corps amenant l'écartement des deux fluides isolés, chacun de ceux-ci se montre avec ses caractères distinctifs. Une division semblable se produit par la seule influence d'un corps électrisé. *Les électricités de même nom se repoussant, tandis que les électricités de noms contraires s'attirent*, dans l'électrisation par l'influence d'un corps électrisé positivement, par

Divers autres systèmes sont employés dans les observatoires. Dans quelques-uns de ces établissements on fait usage d'un galvanomètre analogue à celui dont nous donnons le dessin fig. 83. Un fil de cuivre bien isolé par de la soie recouverte de gomme laque forme, un grand nombre de révolutions autour d'un châssis AB évidé intérieurement, et portant sur son plan supérieur un cercle gradué S. Deux aiguilles aimantées, de forces à peu près exactement pareilles, sont fixées à un même support parallèlement l'une à l'autre, de manière qu'elles se regardent par leurs pôles de noms contraires ; dans cette situation, leur tendance à se diriger dans le méridien magnétique est égale seulement à la différence des deux actions et peut-être rendue aussi faible qu'on le désire. Le support lui-même est suspendu par un fil de soie non tordu L et dans une situation telle que l'aiguille inférieure soit logée dans l'évidement du châssis et l'autre placée immédiatement au-dessus du cercle gradué. Un bouton E permet de tourner le châssis jusqu'à ce que son plan soit parallèle à la direction des aiguilles qui, dans notre figure, sont déviées de leur position naturelle. Pour employer cet instrument à l'étude



Fig. 83.

exemple, l'électricité négative se portera vers l'extrémité la plus rapprochée du corps, l'autre sera refoulée à l'autre bout. (Voir les divers traités de physique, et en particulier le *Traité d'électricité* de M. Gavarret.)

de l'électricité atmosphérique, on fait communiquer l'un des bouts du fil de cuivre avec le sol, et on arme l'autre d'une pointe que l'on dresse verticalement à une certaine hauteur dans l'atmosphère. Toutes les fois qu'il existe une différence de tension entre l'état électrique de l'air et celui de la terre, il s'établit un courant à travers le fil du galvanomètre et l'aiguille aimantée est déviée. Le sens et l'intensité du courant servent à déterminer le signe de la tension électrique de l'atmosphère et son excès sur la tension de la surface du globe.

Quel que soit l'instrument employé, on ne trouve d'ordinaire aucun signe d'électricité dans les lieux bas dominés par des arbres ou par des édifices et dans les rues des villes. En rase campagne et même sur les hauts plateaux, c'est seulement à quelques mètres du sol que les électroscopes commencent à donner des signes sensibles et que le galvanomètre accuse l'existence de courants appréciables; mais les nombreuses expériences faites par de Saussure lui ont montré la tension électrique de l'atmosphère d'autant plus grande qu'il la mesurait plus haut sur les flancs des montagnes.

D'un autre côté, MM. Becquerel et Breschet sont arrivés aux mêmes conclusions par d'autres moyens sur les plateaux du mont Saint-Bernard. Un long fil de soie, recouvert de clinquant, était étendu sur un morceau de taffetas gommé. Une extrémité de ce fil était attachée à une flèche armée d'une pointe métallique, l'autre était munie d'un anneau appuyant sur la tige d'un électroscope à pailles. Quand la flèche était lancée horizontalement, les pailles ne bougeaient pas; mais quand elle était lancée verticalement, les pailles divergeaient de plus en plus jusqu'au moment où l'anneau quittait l'instrument. Des expériences du même genre ont été faites avec des cerfs-volants ou des ballons captifs, armés de pointes métalliques; les résultats s'accordent tous pour établir que, par un ciel serein, la tension de l'électricité des couches atmosphéri-

ques augmente avec leur élévation au-dessus de la surface du sol. Ce résultat se trouve confirmé jusqu'à une grande hauteur par la célèbre ascension aérostatique de MM. Gay-Lussac et Biot. Un fil métallique pendait sur une longueur de 50 mètres au-dessous de leur nacelle et portait à son extrémité inférieure une boule de métal. L'extrémité supérieure mise en communication avec un électromètre donna des signes évidents d'électrisation; sa tension augmenta avec la hauteur du ballon; elle fut constamment *négative*. Comme le fil ne pouvait s'électriser que par influence, les signes négatifs donnés par l'extrémité supérieure de ce fil accusaient un excès croissant d'électricité *positive* dans les couches supérieures de l'atmosphère. Toujours, en effet, par un temps serein, lorsque l'atmosphère est complétement dépouillée de nuages, les électroscopes armés de pointes se chargent d'électricité positive et les galvanomètres accusent l'existence d'un courant descendant de l'air à la terre. L'atmosphère est donc électrisée positivement, à la manière du verre frotté par de la laine; par contre, la surface terrestre est électrisée négativement ou à la manière des résines.

On ignore les variations que peut éprouver dans sa quantité l'électricité totale de notre atmosphère; aucune expérience n'a pu être établie d'une manière permanente à de très-grandes hauteurs; mais on sait que dans les couches inférieures elle subit une double oscillation annuelle et diurne, et de plus, des oscillations accidentelles acquérant quelquefois une grande amplitude.

De Saussure et Schübler ont démontré que les signes électriques passent chaque jour par un *premier maximum* de 6 à 7 heures du matin en été, et de 10 heures à midi en hiver; qu'ils faiblissent ensuite pour atteindre un *premier minimum* entre 5 et 6 heures du soir en été, et vers 3 heures en hiver; qu'ils repassent par un *second maximum* au coucher du soleil,

pour décroître de nouveau pendant la nuit jusqu'au lever du jour, où la proportion d'électricité redevient ascendante. Cette double oscillation est liée aux variations de l'état hygrométrique de l'air. L'air, mauvais conducteur de l'électricité quand il est sec, se laisse traverser par cet agent avec une facilité relative d'autant plus grande qu'il est plus humide. La précipitation de la rosée pendant la nuit permet aux couches inférieures de l'atmosphère de se décharger de leur électricité. Ce dépôt cesse au lever du soleil ; mais les couches d'air moyennes encore fraîches et humides laissent descendre l'électricité des couches supérieures dans les couches inférieures dont la charge augmente. Dans le milieu du jour ce transport s'arrête ; dans les journées chaudes, l'air tend à monter de la surface terrestre vers les hauteurs de l'atmosphère, et ce mouvement tend à éloigner les couches électrisées. Le mouvement ascendant se suspend ou se renverse dans la soirée, en même temps que l'air plus froid devient plus humide ; l'électricité des couches élevées redescend donc vers le sol. Des observations faites dans les Alpes par Kæmtz, semblent montrer qu'il ne s'y présente qu'un minimum le matin et un maximum le soir. A Bruxelles, M. Quételet trouve, en été, un maximun à 8 heures du matin, et un minimum très-prononcé à 3 heures du soir. Du reste, les résultats varient beaucoup d'un lieu à l'autre.

L'électricité atmosphérique, accusée par nos instruments, subit également des variations annuelles. La figure 84, construite d'après des moyennes de 13 années d'observations à Bruxelles, montre le sens et l'étendue de ces variations. Un maximum très-marqué a lieu en hiver, et un minimum dans la saison chaude. Nous remarquerons que l'hiver est l'époque où les courants équatoriaux ont le plus d'activité dans notre hémisphère et où les aurores boréales y sont le plus nombreuses. Le phénomène, toutefois, n'est évidemment pas simple, et les expériences faites à l'observatoire de Bruxelles par M. Quételet,

à l'observatoire du Collége Romain par le R. P. Secchi, à l'observatoire de Lisbonne par M. Brito Capello, à l'observatoire de Munich par M. Lamont, à Kew, en Angleterre, par M. Ronalds, montrent que les variations accidentelles l'emportent beaucoup sur les variations régulières, ainsi qu'il arrive pour le baromètre, et que l'état de l'atmosphère, résultant de ses

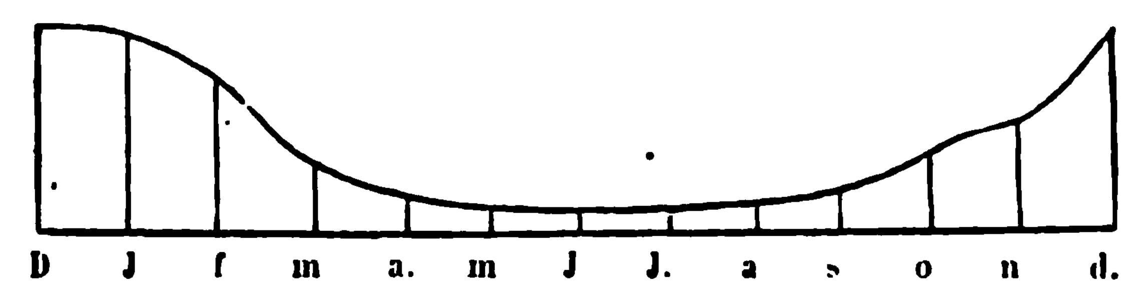


Fig. 84. — Courbe des variations moyennes mensuelles de la tension électrique à Bruxelles.

mouvements généraux et partiels, exerce une influence décisive sur les résultats électriques obtenus [1].

C'est surtout lorsque le ciel se couvre de nuages que les phénomènes électriques acquièrent le plus de mobilité. Pendant les orages, en particulier, les mouvements de l'électromètre sont des plus capricieux en apparence. Les éclairs sont déjà rapprochés de nous, que les instruments restent muets ; puis, tout à coup, ils sont brusquement agités par un éclair plus fort que les autres. Un autre jour, les instruments accusent une forte tension électrique ; quelques éclairs jaillissent et tout signe disparaît pendant quelque temps. Durant un orage, l'électromètre recevra une forte secousse à chaque coup de tonnerre ; dans une autre, il marquera le même degré pendant un quart d'heure, malgré la rapide succession des éclairs. Tantôt enfin, les signes électriques faiblissent à chaque détonation, et tantôt, au contraire, chaque éclair semble leur donner plus d'énergie.

L'électricité subit dans sa nature des variations du même ordre que dans sa quantité. Les signes fournis par l'électroscope accuseront, pendant des heures entières, la présence de

[1] *Physique du globe*, par A. Quételet. Bruxelles, 1861, p. 89.

l'électricité positive dans les nuages, puis sans que rien ait changé en apparence dans les conditions extérieures, les signes s'intervertissent et se succèdent rapidement, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. C'est un véritable dédale, où il est fort difficile de se reconnaître, surtout en présence des observations peu nombreuses et peu suivies dont on dispose.

Toutes ces variations agissent puissamment sur nous. L'anxiété que l'on éprouve souvent à l'approche d'un orage ou pendant sa durée n'a pas d'autre origine. Les éclats du tonnerre et la connaissance des effets terribles qu'il peut produire excitent la crainte chez beaucoup de personnes; mais on se tromperait si on attribuait à cet unique sentiment l'impression que l'orage produit sur nous. Des hommes dont le courage ne peut être révoqué en doute et qui d'ailleurs apprécient le danger à sa véritable valeur, ne sont quelquefois pas plus épargnés que les autres par cette agitation et cette anxiété nerveuses résultant des brusques mouvements de l'électricité dans nos organes. Les personnes d'un tempérament nerveux, celles qui ont été affaiblies par les maladies ou qui sont atteintes d'affections rhumatismales y sont le plus exposées.

§ III. — Origine de l'électricité atmosphérique.

L'origine de l'électricité atmosphérique est encore entourée d'une grande obscurité. On la plaça d'abord dans le frottement des masses d'air les unes contre les autres. Volta, puis de Saussure admirent qu'elle se rattachait à l'évaporation des eaux à la surface du globe et que l'état électrique de l'atmosphère était entretenu par les masses de vapeurs électrisées positivement, fournies incessamment par les mers, les lacs, les rivières et la surface même du sol. M. Pouillet reprit cette importante

question de météorologie, et, dans une série de recherches[1], il précisa les conditions dans lesquelles un dégagement d'électricité accompagne l'évaporation. Pour que ce dégagement ait lieu, il suffit que l'eau contienne des traces de matière saline en dissolution, ce qui est le cas de toutes les eaux naturelles.

Les conclusions de M. Pouillet ont été contestées par M. Gaugain[2], et la question est plus indécise que jamais. Un seul point semble bien établi : c'est que quelle que soit la source de l'électricité atmosphérique, cette électricité nous vient surtout des régions intertropicales par les couches élevées de l'atmosphère, soit qu'elle s'y propage directement, soit que les grands courants aériens aident à son transport ainsi que divers phénomènes semblent l'établir.

L'atmosphère étant toujours électrisée positivement, l'électrisation positive des nuages est facile à comprendre. Le nuage, par l'eau qu'il contient, est un corps assez bon conducteur ; il a concentré en lui l'électricité de toute la masse d'air qui lui a fourni sa vapeur, et le fluide s'accumulant à la surface du nuage peut y acquérir un très-haut degré de tension. Mais l'interversion des signes électroscopiques pendant les orages montre qu'il se trouve très-fréquemment des nuages électrisés négativement. Ces derniers sont dus à des causes multiples.

Sous l'influence de l'électricité positive de l'air, le sol s'électrise négativement sur tous ses points en saillie et particulièrement sur les sommets des montagnes. Souvent on voit des nuages s'approcher vivement d'un pic élevé, s'y arrêter quelque temps, puis s'en détacher pour suivre le mouvement général de l'atmosphère. Le nuage positif a d'abord été attiré par le pic électrisé d'une manière opposée ; il en est repoussé lors-

[1] *Annales de physique et de chimie*, 2e série, 1827, t. XXXV, p. 401, et t. XXVI, p. 5.

[2] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1854, t. XXXVIII, p. 1012, et t. XXXIX, p. 931

que, par son contact, il s'est électrisé négativement comme lui. Les nuages qui, formés par les brouillards des vallées, suivent les rampes des montagnes en s'élevant dans l'atmosphère sous l'influence des courants ascendants, et qui semblent accrochés, pendant plusieurs heures, à leurs sommets, peuvent également s'y électriser négativement. D'un autre côté, on remarque fréquemment dans l'atmosphère plusieurs couches de nuages superposées. Les nuages inférieurs étant placés entre des nuages positifs et la surface négative du sol, leur électricité positive repoussée par le haut, attirée par le bas, se portera sur la face inférieure du nuage et disparaîtra emportée par la première pluie. Ces nuages se déchargeront donc progressivement d'un côté, tandis que de l'autre ils se chargeront par influence d'une manière opposée, c'est-à-dire négativement. Quelle que soit leur origine, ces nuages négatifs sont entraînés par les vents pêle-mêle avec les nuages positifs; les uns et les autres portent leur influence partout où ils passent. C'est à la proximité de nuages inversement électrisés que sont dus la plupart des orages.

Quand la vapeur d'eau se dépose à la surface du sol, sous forme de brouillard ou de rosée, les signes électriques fournis par les électromètres éprouvent un accroissement marqué, soit que la condensation de la vapeur donne lieu à un dégagement d'électricité, soit que le brouillard favorise l'action de l'électricité contenue dans les couches supérieures, soit enfin qu'il concentre en lui-même l'électricité des masses d'air qui ont contribué à sa formation. De Saussure affirme n'avoir jamais vu de brouillard sans un dégagement notable d'électricité; mais, d'autre part, M. Kæmtz a trouvé que dans les Alpes l'électricité diminuait beaucoup lorsque le brouillard arrivait jusqu'à lui. Il y a là une inconnue à dégager. En général, l'électricité des brouillards est positive dans les lieux bas; au sommet des montagnes elle est souvent négative, comme nous l'avons

dit plus haut. C'est peut-être à un état intermédiaire que se rapporte l'observation de M. Kæmtz.

Lorsque la pluie ou la neige tombent, l'électricité augmente également d'une manière sensible, mais ici elle est tantôt positive, tantôt négative. Ce n'est que dans les pluies douces et prolongées que tout signe électrique disparaît. La pluie et la neige doivent participer du genre d'électrisation du nuage d'où elles émanent. D'après les observations de Schübler et de Himmer, les pluies négatives sont beaucoup plus fréquentes par les vents du S. que par les vents du N.; mais aussi la superposition de couches diverses de nuages est beaucoup plus commune par les premiers vents que par les seconds. Les résultats de Schübler et de Himmer montrent, en outre, par les divergences considérables qu'ils présentent, que les pluies négatives sont des accidents très-fréquents, il est vrai, mais dont la cause est locale, tandis qu'elle est plus générale pour les pluies positives.

Les mouvements de l'électricité atmosphérique donnent lieu à des phénomènes de diverses natures. Ils maintiennent l'aiguille aimantée dans un état d'agitation presque continuelle et ont, sans doute, la plus grande influence sur sa direction moyenne. Ils produisent, dans les régions polaires, les splendides illuminations des aurores boréales. Dans les régions tempérées, et surtout dans les régions équatoriales, ils engendrent les orages. Ces derniers prennent naissance au milieu d'agitations déterminées de l'atmosphère; mais ils peuvent, à leur tour, devenir l'occasion de troubles profonds en favorisant la formation des trombes. Nous examinerons successivement ces divers phénomènes.

§ IV. — De l'Orage.

L'orage éclate lorsque des nuages, parvenus à un certain degré d'électrisation, se trouvent à proximité d'autres nuages ou des objets terrestres sur lesquels ils peuvent se décharger de leur fluide en excès.

La hauteur des nuées orageuses est très-variable[1].

Bouguer dans les Cordillères, de Saussure dans les Alpes, MM. Peytier et Hossard dans les Pyrénées, ont observé des orages développés à 4868, à 4500 et 3200 mètres au-dessus du niveau de la mer. Dans les plaines de la Sibérie, l'abbé Chappe a constaté que des nuées orageuses atteignaient à une hauteur de 3470 mètres; il décrit d'autres orages dans lesquels les nuages n'étaient pas à plus de 214 mètres au-dessus du niveau de la mer. Des différences du même ordre se présentent en France. On voit sur les cartes de l'Observatoire dont nous donnons plusieurs exemples, planches XVII, XVIII, XIX, des orages traverser la France dans une grande partie de son étendue, sans subir de déviations bien marquées par l'effet des montagnes et des vallées qu'ils traversent : dans ce cas, les nuées orageuses restent suspendues à une grande hauteur. D'autres fois, au contraire, les orages se fractionnent à la rencontre des moindres accidents de terrain, comme les courants superficiels au milieu desquels ils voyagent. C'est dans ces dernières circonstances que les décharges électriques à la surface du sol sont les plus fréquentes.

Chaque décharge est accompagnée d'une production de lumière constituant l'*éclair*, et d'un ébranlement de l'air d'où

[1] *Notice d'Arago sur le tonnerre.* (*Annuaire du bureau des longitudes*, année 1838.)

ésulte le bruit du *tonnerre*. Les objets traversés par la dé-harge présentent, en outre, des effets très-variés attribués à la *oudre*.

ÉCLAIRS

Arago distingue trois sortes d'éclairs.

Les éclairs *de la première classe* consistent en un sillon de umière très-resserré, très-arrêté sur ses bords. Ces éclairs essemblent exactement aux étincelles que nous tirons de nos nachines électriques; les angles vifs que l'on voit quelquefois e former sur leur trajet et que l'on exagère beaucoup dans les lessins qu'on en donne ne sont que des apparences dues à la erspective. Ces éclairs jaillissent souvent entre deux nuages oisins, mais plus souvent encore entre un nuage et la terre : e sont les *éclairs fulgurants*. A une petite distance de la nue ui les fournit, ils peuvent se bifurquer ; quelques faits mon-rent même qu'ils peuvent se diviser en un beaucoup plus grand nombre de rameaux. Ce der-nier phénomène, qui paraîtrait n'ê-re pas très-rare lans les régions ropicales, se ren-ontre aussi dans 10s climats. Bien les tours et dé-



Fig. 85.

ours attribués à la foudre, quand elle frappe une habitation, l'ont pas d'autre origine qu'une division de ce genre. Ainsi, e 3 juin 1665, la foudre pénétra au même instant par quatre oints différents et fort éloignés les uns des autres dans le col-ège de Pembroke, à Oxford; en avril 1718, vingt-quatre églises

furent foudroyées aux environs de Saint-Paul de Léon, quoiqu'on n'eût entendu que trois coups de tonnerre. Des divisions de ce genre peuvent, du reste, être obtenues avec nos machines, comme le montre la figure 85.

De la discussion détaillée des observations publiées par de Lisle, Arago conclut que les éclairs de première classe peuvent parcourir dans l'atmosphère des distances très-grandes et que, dans certains cas, ils n'ont pas moins de 10 à 15 kilomètres de longueur.

Les éclairs de la *deuxième classe* sont de beaucoup les plus communs. Leur lumière, au lieu d'être concentrée en un trait sinueux, est diffuse et embrasse de très-grandes surfaces.

La distinction entre ces deux classes d'éclairs est souvent purement accidentelle; un même éclair peut être linéaire pour un observateur et diffus pour un autre, lorsque par la perspective, un nuage s'est interposé entre le sillon lumineux et l'observateur qui n'aperçoit plus alors que l'éclairement produit par toute étincelle électrique. Ces deux classes d'éclairs ont un autre caractère commun, la brièveté de leur durée. Un éclair jaillissant au milieu de la nuit, produit sur l'œil une impression très-vive et très-persistante qui peut aller, dans quelques circonstances exceptionnelles, jusqu'à la cécité. La décharge, par elle-même, n'a qu'une durée excessivement courte, ainsi qu'on peut s'en assurer par une expérience due à Wheatstone. On prend un disque de carton blanc, sur lequel on trace des rayons rapprochés laissant entre eux des intervalles appelés secteurs. On teint en noir ces secteurs de deux en deux, de manière à figurer une espèce de roue à rais alternativement noirs et blancs. On imprime à cette roue un mouvement de rotation très-rapide dans son plan et autour de son centre. Quelque rapide que soit ce mouvement, au moment où un éclair simple jaillit, les rais paraissent aussi nettement tranchés que si le disque était complétement en repos. Malgré

sa vitesse, le disque n'a pas le temps de se déplacer d'une manière appréciable à l'œil pendant la durée de l'éclair. Il n'en est plus ainsi pour certains éclairs multiples formés par la succession rapide d'étincelles sur les lignes de séparation de deux nuages voisins, ou sur des lambeaux de nuages reliant deux masses plus éloignées.

Dans la *troisième classe*, Arago range les globes de feu de volume très-variable qui, dans les temps d'orage, traversent l'atmosphère avec une vitesse plus ou moins grande, mais toujours appréciable, et en se dirigeant vers la terre. Leur disparition subite est quelquefois accompagnée de détonations comparables à celles de plusieurs pièces d'artillerie; d'autres fois elle s'opère sans bruit. Dans tous les cas, ils produisent sur les corps voisins les effets ordinaires de la foudre. Arago rapporte un assez grand nombre de ces globes de feu dont la nature électrique est incontestable, mais dont le mode de formation est complétement inconnu.

TONNERRE

Le tonnerre accompagne l'éclair, comme le craquement de l'étincelle d'une bouteille de Leyde accompagne le jet de lumière qui s'en échappe. Que l'éclair soit simple ou multiple, la cause première du bruit du tonnerre est instantanée comme l'étincelle elle-même : sa persistance est due à la lenteur avec laquelle se propage le son. Le son parcourt 340 mètres environ par seconde, et il est des éclairs qui atteignent 10 ou 15 kilomètres de longueur. Admettons que les distances de leurs diverses parties jusqu'à nous diffèrent seulement de 1,000 mètres, le son produit sur l'extrémité la plus éloignée ne nous parviendra que trois secondes après celui qui provient de l'extrémité la plus proche. Durant cet intervalle, le son ne sera pas uniforme, parce que l'éclair n'est jamais rectiligne. De tous les

points qui fuient pour ainsi dire devant nous, le bruit nous arrive successivement et en détail; il nous parvient, au contraire, en bloc des parties infléchies latéralement et dont le développement s'effectue sans changement dans la distance. Chaque sinuosité de l'éclair est l'occasion d'une variation dans l'intensité du son perçu. Ces variations changent de rapports avec la position de l'observateur. Un même coup de tonnerre peut donc être entendu de manières très-différentes en deux points un peu éloignés l'un de l'autre.

A cette première cause s'en joignent d'autres pour produire le *roulement* caractéristique du tonnerre. Le son se répercute sur les saillies du sol et même à la surface des nuages; Scoresby, près des lacs Killarney, a constaté qu'un simple coup de pistolet répété par les échos était entendu pendant trente secondes. Les éclats du tonnerre sont incomparablement plus forts et plus prolongés dans les pays montagneux que dans les plaines. D'un autre côté, les vibrations de l'air, qui constituent le son, partant de lieux divers pour se superposer en un même point y arrivent tantôt en concordance, tantôt en discordance selon les inégalités des chemins parcourus : ici elles seront d'accord et se renforceront, à côté elles seront en désaccord et s'affaibliront, ainsi qu'on le remarque pour les ondes s'entrecroisant à la surface d'une eau dormante. Ajoutons enfin que les grands éclairs sont rarement simples; ou bien ils se ramifient, ou ils sont formés d'éclairs distincts se succédant à de très-courts intervalles. Toutes ces causes concourent à produire des oscillations dans l'intensité du bruit perçu en un point et des changements d'un lieu à un autre dans la succession des roulements.

La durée des plus longs roulements du tonnerre observés par de Lisle, à Paris, varie de 35 à 45 secondes : elle est plus considérable dans les pays de montagnes. L'intervalle qui s'écoule entre l'éclair et le tonnerre varie ordinairement de 3 à 16 se-

condes; il peut s'élever à 60 ou 70 secondes. Ce dernier chiffre, avec une vitesse de propagation du son de 340 mètres, correspond à une distance de 24 kilomètres du point le plus rapproché de l'éclair. La discussion des observations d'orage faites en France, sur un très-grand nombre de points du territoire, montre que c'est à peu près la plus grande distance à laquelle on entende le tonnerre quand il n'a pas une intensité exceptionnelle. L'éclair, ou l'illumination qu'il produit dans le ciel, peut être vu d'une trentaine de lieues; de là les *éclairs sans tonnerre* ordinairement appelés *éclairs de chaleur*.

FOUDRE

Quelque bizarre que paraisse le chemin parcouru par la foudre, on peut être assuré qu'elle a suivi la voie offrant le minimum de résistance à sa marche. Les métaux étant de tous les corps les meilleurs conducteurs, c'est à eux qu'elle s'attache de préférence; mais elle les quitte chaque fois qu'elle trouve à leur extrémité une résistance supérieure à celle présentée par d'autres corps.

Après les métaux viennent les corps humides, et, quand la foudre frappe un sol en apparence aride, il est rare que dans le sous-sol on ne rencontre pas une veine humide qui a déterminé son choix. Remarquons, cependant, que la forme des objets et leur saillie à la surface de la terre exerce une grande influence sur la chute du tonnerre.

Pour que la foudre tombe, il faut que le nuage orageux ait été abaissé près du sol. Tous les points de la surface terrestre sont alors fortement électrisés par influence. L'électricité qu'ils contiennent, opposée à celle du nuage, est attirée par cette dernière, et se porte sur les points en relief. Elle y attire à son tour l'électricité du nuage et favorise sa décharge. Aussi

les arbres sont-ils le plus exposés aux atteintes de la foudre, et, parmi eux, ceux qui sont le plus fournis de séve, dont le feuillage est le plus volumineux et le plus élevé, dont les racines plongent le plus profondément dans le sol, et qui recherchent les terrains les plus humides. Mais qu'un remous du vent abaisse un lambeau de nuage, et la foudre éclatera en apparence contre toutes les règles, en un point où les circonstances les plus désavantageuses sembleront réunies ; l'influence de la distance devient accidentellement prépondérante.

Lorsque la foudre rencontre sur son chemin un corps lui faisant obstacle par son défaut de conductibilité, elle le contourne si l'accroissement de résistance provenant de ce détour est moindre que la résistance du corps ; dans le cas contraire, elle le perce, le brise et quelquefois le disperse au loin. Son passage est toujours marqué par une production de chaleur en rapport avec la somme de résistance vaincue. Les métaux, corps bons conducteurs, sont à peine échauffés si leur section est suffisante ; mais, s'ils offrent à l'électricité une route trop étroite, ils peuvent être volatilisés. C'est l'effet ordinairement produit sur les arbres frappés par la foudre. La séve, réduite en vapeur au milieu des tissus de l'arbre, dans sa partie la plus étranglée, ordinairement le tronc, le fait éclater et le réduit en espèces de filaments comme des allumettes. Les effets les plus remarquables de la foudre sont reproduits à mesure par tous les journaux ; il n'en est jamais deux qui se ressemblent. Nous en citerons un seul, pour donner un exemple de la puissance extraordinaire de l'agent électrique : il est rapporté par Arago dans sa notice sur le tonnerre. Un mur de briques, du poids de 26,000 kilogrammes environ, fut arraché de ses fondements par un coup de foudre, soulevé et transporté en masse à deux mètres de distance. Arago pense que ces projections sont produites par la transformation subite en vapeur des filets d'eau que la foudre rencontre sur son passage.

Des effets d'une aussi grande énergie expliquent aisément l'action exercée par la foudre sur notre frêle machine. Si le fluide parcourt les parties externes du corps, il y creuse un sillon, et la brûlure ainsi produite est profonde, très-douloureuse et très-difficile à guérir. Mais, s'il pénètre dans l'intérieur, il produit sur le système nerveux une telle commotion, qu'il le désorganise. De là des paralysies, quand la partie atteinte n'est pas essentielle, ou bien la mort, sans que l'autopsie révèle aucun désordre, parce que nous ignorons la structure intime des centres nerveux, et que nous sommes inhabiles à distinguer ses lésions. Le choc direct n'est pas même nécessaire pour produire ce dernier résultat ; il suffit du choc en retour.

CHOC EN RETOUR

Nous pouvons supporter, sans nous en apercevoir, des charges d'électricité considérables. Ce n'est pas la présence du fluide qui nous impressionne, mais ses variations, quand il augmente ou diminue.

Pendant certains orages, lorsque les nuages sont bas et fortement électrisés, on voit des lueurs phosphorescentes apparaître à l'extrémité des objets dressés dans l'air. Ce phénomène, connu des anciens sous le nom de *Castor et Pollux*, a été regardé par les marins du moyen âge comme un signe de la protection de saint Elme, d'où lui est venu le nom de *feu Saint-Elme*. Les armes des soldats, les mâts des navires, le sommet des clochers, des girouettes, des paratonnerres, quelquefois même les cheveux et les vêtements se recouvrent de flammes ou de lueurs accompagnées d'un sifflement aigu. Ces flammes, complétement inoffensives, sont dues à l'écoulement de l'électricité, comme les petites aigrettes que l'on remarque dans l'obscurité au bout des doigts ou des ongles quand on les approche d'une machine électrique fortement chargée. Elles accusent toutefois une ten-

sion électrique élevée sur les corps où elles apparaissent. Tant que cette tension persiste, ou qu'elle ne varie qu'avec lenteur, les effets ressentis sont généralement nuls; mais, si le nuage qui l'a soutient se décharge brusquement, le retour également brusque de l'électricité du corps dans le sol détermine une forte secousse. Souvent, pendant les orages, les chevaux ou les bœufs bondissent ou s'abattent à un coup de tonnerre parti entre deux nuages bas : le volume de leur corps et l'exiguïté de leurs membres y rendent les commotions faciles à produire. Quelquefois aussi, par un violent coup de tonnerre, des hommes se trouvent transportés à plusieurs mètres sans garder conscience de ce qui s'est opéré en eux. Le passage instantané de l'électricité a fait contracter leurs muscles, comme le fait la décharge d'une bouteille de Leyde. Ces commotions sont rarement dangereuses; elles peuvent cependant devenir funestes quand on est très-près du trajet de la foudre, parce que les mouvements d'électricité par influence deviennent alors très-énergiques. Une grande partie des cas de mort par la foudre sans lésion apparente n'ont pas d'autre cause.

Le nombre des personnes foudroyées est annuellement de 79 ou 80 en moyenne pour la France. Plus de la moitié l'ont été sous des arbres. Dans l'intérieur des habitations, les accidents sérieux de cette nature sont extrêmement rares, parce que tout l'effort de l'électricité se porte sur les murs. Le danger varie, du reste, suivant le lieu qu'on occupe et la nature des objets environnants; les plus élevés sont toujours les plus menacés, toutes choses égales d'ailleurs.

§ V. — Des Paratonnerres.

La fréquence des orages et les désastres qui les accompagnent trop souvent ont dû porter de tous temps les hommes

à rechercher les moyens de se mettre à l'abri de leurs atteintes.

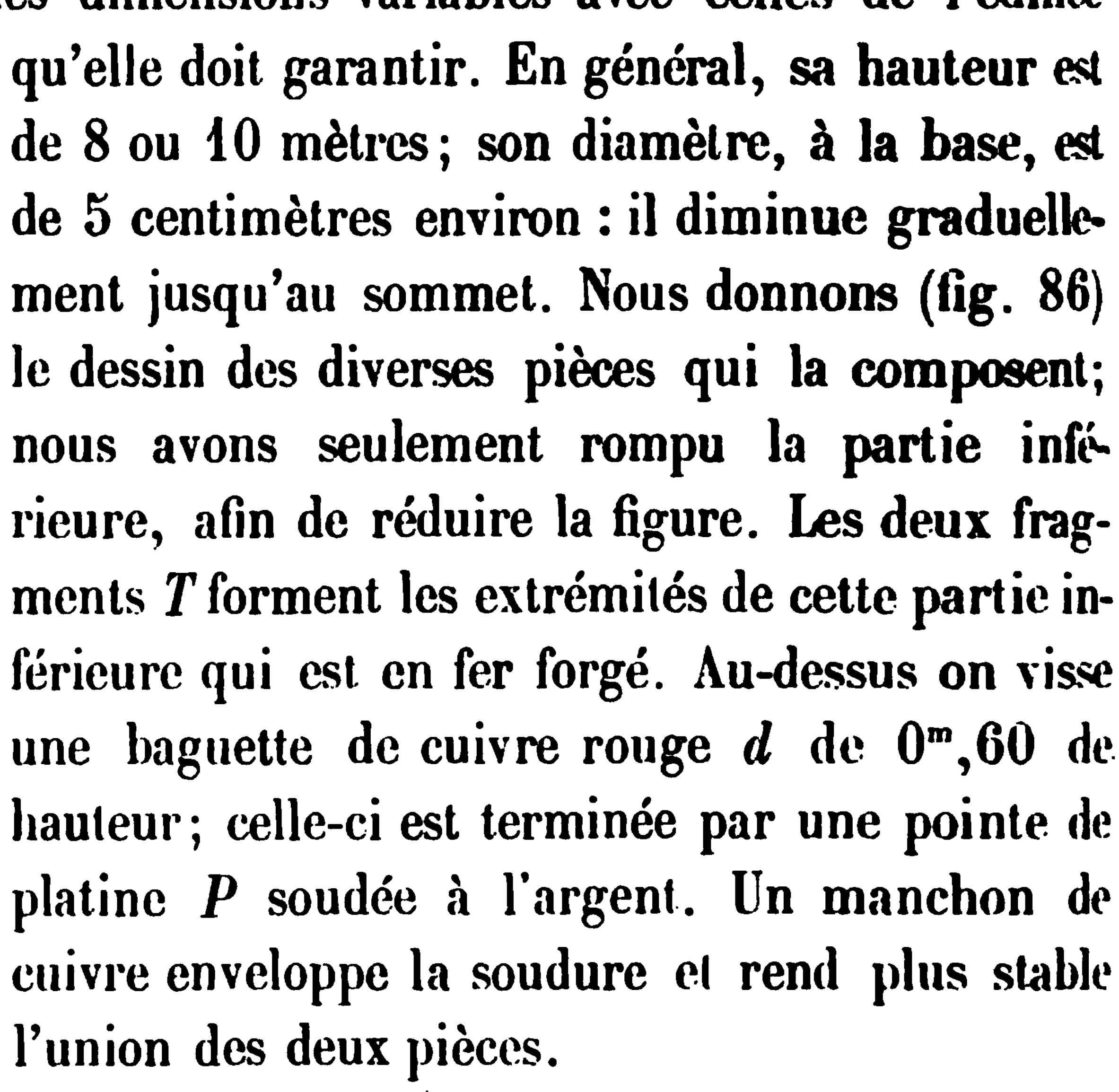
Hérodote raconte que les Thraces avaient l'habitude de lancer des flèches contre les nuées orageuses pour rendre au ciel ses menaces. Les anciens considéraient les cavernes comme des lieux sûrs, et, au rapport de Suétone, l'empereur Auguste avait l'habitude, dès qu'un orage menaçait, de se retirer dans un lieu bas et voûté. Kœmpfer nous apprend que les empereurs du Japon font établir un réservoir d'eau au-dessus de la grotte où ils se retirent pendant les orages. Diverses pratiques, autrefois adoptées sont abandonnées aujourd'hui. Par contre, il est certaines habitudes qui persistent, malgré les fréquents exemples des dangers auxquels elles exposent. Les grands arbres, en raison de leur élévation et de la profondeur de leurs racines qui pénètrent souvent jusqu'aux eaux souterraines, sont fréquemment frappés par la foudre; les hommes réfugiés autour de leur tronc sont eux-mêmes atteints soit directement par une fraction dérivée de l'étincelle, soit par le choc en retour. Il est difficile, quand on est surpris par une pluie d'orage au milieu des champs, de ne pas profiter d'un abri voisin : l'inconvénient immédiat fait négliger un danger éventuel auquel on échappe souvent. Il conviendrait du moins de prendre certaines précautions propres à éloigner le péril. Il faut choisir de préférence pour abri quelques arbres bas, situés à une petite distance de grands arbres, y occuper le moins de place possible en hauteur et ne jamais s'appuyer au tronc. Le docteur Winthorp conseillait de se placer à huit ou dix mètres de quelque grand arbre, et Franklin approuvait ce précepte.

Le son des cloches et le bruit du canon sont sans action sur la foudre. Les sonneries, qui dans l'origine avaient pour but d'appeler les fidèles à la prière pour conjurer l'orage, n'ont par elles-mêmes d'autre effet que d'exposer les sonneurs aux dangers résultant de l'élévation des clochers, de leur forme aiguë

et des tiges de fer qui surmontent leur toit. Ces dangers disparaîtraient par l'emploi du paratonnerre.

La découverte de Franklin le conduisit immédiatement au procédé le plus efficace pour préserver les édifices des ravages de la foudre.

Le *paratonnerre* se compose de deux parties principales : — une tige métallique solidement encastrée par sa partie inférieure au sommet de l'édifice, et dont la partie supérieure se termine en pointe aiguë ; — un conducteur métallique destiné à mettre la base de la tige en communication avec le sol.



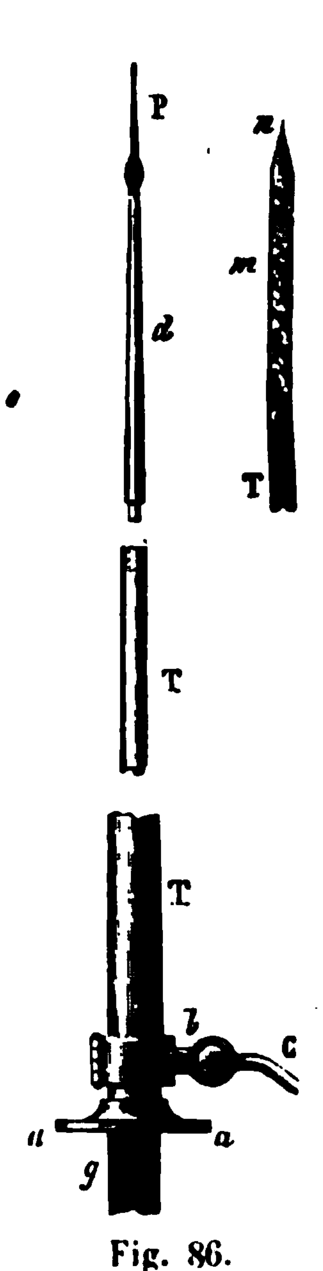


Fig. 86.

La tige a des dimensions variables avec celles de l'édifice qu'elle doit garantir. En général, sa hauteur est de 8 ou 10 mètres ; son diamètre, à la base, est de 5 centimètres environ : il diminue graduellement jusqu'au sommet. Nous donnons (fig. 86) le dessin des diverses pièces qui la composent ; nous avons seulement rompu la partie inférieure, afin de réduire la figure. Les deux fragments *T* forment les extrémités de cette partie inférieure qui est en fer forgé. Au-dessus on visse une baguette de cuivre rouge *d* de $0^{m},60$ de hauteur ; celle-ci est terminée par une pointe de platine *P* soudée à l'argent. Un manchon de cuivre enveloppe la soudure et rend plus stable l'union des deux pièces.

Immédiatement au-dessus de l'embase *aa*, destinée à écarter les eaux pluviales du scellement de l'appareil, un collier métallique *B* est fortement serré autour de la barre de fer. A ce collier on fixe solidement, au moyen d'un boulon, une barre de fer carrée de 15 à 20 millimètres de côté, et formant le conducteur. Cette barre est quelquefois remplacée par un gros câble en fils de fer, qu'il faut goudronner avec soin pour empêcher la

rouille de le détériorer. Le conducteur, soutenu et fixé par des crampons métalliques le long de la toiture, s'infléchit pour embrasser la corniche, puis descend verticalement, soutenu à une petite distance des murs, jusqu'au sol où il se termine en satisfaisant à des conditions d'une grande importance. Dans ce trajet de la tige au sol, le conducteur doit être relié métalliquement à toutes les grosses pièces de fer entrant dans la construction des charpentes, des conduites d'eau et de gaz, ou de toute autre partie de l'édifice.

Une communication suffisante du conducteur avec le sol est essentielle. La terre sèche conduit mal l'électricité. Chaque fois qu'on le peut, on devra donc creuser un puits jusqu'à ce que l'on soit parvenu à une nappe d'eau, et l'extrémité du conducteur devra plonger de 1 à 2 mètres dans cette eau. Un vaste étang, une rivière ne tarissant pas, conviennent aussi parfaitement. Les réservoirs artificiels, comme les citernes, entourés de matériaux peu conducteurs de l'électricité, fournissent, au contraire, une mauvaise communication et exposeraient à de très-graves accidents. Lorsqu'on ne peut atteindre une nappe d'eau naturelle, il faut pénétrer dans le sol jusqu'à une couche de terrain constamment humide, y creuser des tranchées dans lesquelles on ramifie l'extrémité du conducteur en l'entourant avec de la *braise* de boulanger. Ce charbon est un bon conducteur et protége le métal contre l'action destructive de la rouille.

Lorsqu'un nuage électrisé passe au-dessus d'un paratonnerre bien établi, la tige et le conducteur s'électrisent par influence; l'électricité, de même nature que celle du nuage, est repoussée vers le sol où elle se perd. L'électricité de nom contraire suit une marche inverse et se porte vers le nuage; arrivée à la pointe, elle y trouve une sortie facile, et s'écoule en abondance, mais d'une manière continue et sans secousse. Le paratonnerre, dans ces conditions, forme donc une espèce de robinet

toujours ouvert à l'appel des nuées orageuses qui se neutralisent peu à peu par l'afflux d'une électricité contraire à la leur. Les expériences de Beccaria ont mis en évidence l'écoulement considérable d'électricité qui s'opère pendant les temps d'orage au travers du conducteur des paratonnerres. En 1753, ce physicien avait établi un paratonnerre sur le toit de San Giovanni di Dio, à Turin. La tige était portée sur un support isolant; en face de sa base, et à *une faible distance*, était placée l'extrémité supérieure d'un conducteur dont la communication avec le sol était bien établie. Dès qu'un nuage orageux passait dans le voisinage de l'appareil, la solution de continuité était traversée par une série d'étincelles. Pendant les forts orages, les étincelles étaient vives, se succédaient sans interruption, et s'accompagnaient d'un bruit continu. Les paratonnerres fonctionnent silencieusement; la nuit, seulement, leur extrémité apparaît enveloppée d'aigrettes ou de lueurs phosphorescentes. Lorsque la pointe est émoussée, l'écoulement du fluide est moins facile; il peut se faire alors par secousses brusques analogues à de petites décharges. Si le conducteur est, du reste, en bon état, l'électricité le suit jusqu'au sol, et les accidents sont peu à craindre. Il est préférable, cependant, que la pointe soit bien aiguë, et c'est afin qu'elle conserve cet état qu'on la fait en platine, métal inaltérable et presque infusible.

Les paratonnerres, par la nature même de leur fonction, diminuent la tension électrique des nuages et contribuent à affaiblir la violence des orages. Toaldo assure avoir vu deux fois à Nymphenbourg, en Allemagne, des nuées orageuses d'où partaient incessamment les plus vifs éclairs s'avancer vers le château et n'être plus, après avoir dépassé les tiges, que de simples nuées silencieuses. M. Cosson, curé de Rochefort, cite un fait pareil observé par lui le 4 décembre 1785. Un nuage, qui jetait beaucoup d'éclairs et dans lequel grondait le tonnerre, devint tranquille et ne donna plus que quelques fai-

bles lueurs dès que le vent d'O. l'eût fait passer au-dessus du paratonnerre de l'église. De Romas observa aussi quelquefois que, pendant la durée de ses expériences, les éclairs et le tonnerre cessaient complétement. Ces faits suffisent pour bien déterminer le rôle des paratonnerres ; mais on ne remarque pas que le nombre des orages ait diminué d'une manière bien sensible dans les grandes villes, où cependant les paratonnerres sont nombreux. C'est que cet appareil n'agit que d'une manière locale et sur les nuages bas, les seuls du reste qui soient dangereux. Les nuées orageuses qui passent à de grandes hauteurs en sont peu modifiées, et, comme les progrès de l'orage les font ultérieurement abaisser vers le sol, la foudre peut encore tomber au delà des points préservés. Le nombre des orages *entendus* à Paris peut donc n'avoir pas diminué, tandis qu'il aurait faibli un peu au Nord-Est de cette ville, c'est-à-dire dans la direction dans laquelle les orages se rendent généralement après leur passage sur Paris.

La sphère d'action d'un paratonnerre ne saurait être déterminée d'une manière précise ; elle dépend de l'élévation des nuages orageux. La tige agit à une distance indéfinie dans le sens de la hauteur ; mais il n'est pas rare que des lambeaux de nuages fortement électrisés soient séparés par les vents de la source commune et rabattus vers la surface du sol à une hauteur moindre même que le sommet du paratonnerre. Ce dernier est alors en grande partie paralysé dans son action régulière ; il n'agit plus que comme simple conducteur. Malgré l'écoulement facile qu'il présente à l'électricité, les parties latérales de l'édifice, grâce à leur plus grand rapprochement du nuage, peuvent fournir à sa décharge une route plus directe. Cela dépend de la nature des matériaux qui entrent dans sa construction. Pour éviter cette cause d'accidents, il est utile d'implanter quelques paratonnerres horizontalement ou dans des positions très-inclinées sur l'entablement des édifices un peu étendus et isolés.

Depuis 1823, époque à laquelle Gay-Lussac donna communication à l'Académie de sa belle instruction sur les paratonnerres, la règle généralement adoptée dans l'installation de ces appareils est ainsi formulée par Arago : « Il ne doit y avoir sur un « comble, sur une terrasse, etc., aucun point dont la distance « horizontale à la tige la plus voisine soit plus grande que le « *double* de la hauteur de cette tige au-dessus de sa base. » Ajoutons que toutes les tiges placées sur un même édifice doivent communiquer métalliquement entre elles.

§ VI. — Grêle et Paragrêle.

La grêle est un phénomène très-commun et d'autant plus remarquable qu'il se produit ordinairement en été. Les grêlons peuvent présenter les dimensions les plus variables, depuis le grain de grésil jusqu'au bloc de glace de plusieurs hectogrammes.

Le *grésil* paraît n'être que de la neige roulée dont le volume a pu s'accroître par la condensation et la congélation de nouvelle vapeur pendant sa chute. Il tombe en hiver ou au printemps, rarement il accompagne les orages.

Tout *grêlon* présente dans son intérieur un point blanc ou opalin, paraissant avoir même origine. Quand les grêlons sont peu volumineux ils sont généralement arrondis; quand ils dépassent une certaine grosseur ils sont de forme irrégulière. Ils ressemblent tantôt à une demi-sphère, tantôt à une pyramide dont la base est convexe ; ils paraissent formés par l'éclatement d'une sphère plus grosse, dont le point de rupture coïnciderait généralement avec le noyau neigeux central. Les arêtes vives de la cassure se seraient toutefois émoussées soit par la fusion du grêlon dans les couches inférieures de l'atmosphère, soit par

la formation de nouvelles couches de glace pendant son séjour dans les hautes régions. Ces couches superposées sont quelquefois très-nettement tranchées par l'effet des conditions variables où elles se sont produites. Les grêlons très-volumineux résultent de la soudure de plusieurs grêlons, soit pendant leur chute, soit pendant la période de vive agitation que l'on observe dans les nuages orageux. L'approche d'un nuage chargé de grêle est en effet annoncée par un bruit caractéristique, quelquefois assez intense pour couvrir le bruit du tonnerre, et que des observateurs ont comparé au bruit d'un train de chemin de fer passant à quelque distance.

La suspension prolongée des grêlons dans l'atmosphère est un phénomène remarquable et qu'on ne peut attribuer qu'à l'intervention de l'électricité, d'autant plus qu'elle ne se produit jamais en dehors des orages.

La chaleur étouffante qui précède fréquemment les orages est physiologique autant et plus que physique, en ce sens que les indications du thermomètre sont loin d'être en rapport avec elle; elle est d'ailleurs propre aux couches inférieures de l'atmosphère et la température décroît alors très-rapidement, à mesure qu'on s'élève. A 2000 ou 3000 mètres on trouve, même en été, une température inférieure à zéro. On se rappelle qu'en juin, MM. Barral et Bixio rencontrèrent 39 degrés de froid à une hauteur de six à sept mille mètres. La formation de la glace est facile à comprendre dans de telles conditions.

Pendant les orages on observe fréquemment, et toujours quand il y a grêle, plusieurs couches de nuages superposés marchant ordinairement dans des directions différentes. Cette superposition est une des causes de l'électrisation négative des nuages ; les inférieurs sont électrisés négativement et les supérieurs positivement. Entre deux nuages ainsi opposés par leurs propriétés, il se produit des attractions très-énergiques et un va-et-vient continuel. Des flocons de neige, des grains de grésil,

des grêlons sont ballottés rapidement de l'un à l'autre nuage. Ils ramassent dans leur course toutes les particules glacées qu'ils rencontrent ; le froid qu'ils ont pris en haut condense de la vapeur en bas, et l'eau ainsi déposée se gèle en haut, si elle ne l'est déjà ; leur volume augmente donc rapidement. Dans ces mouvements tumultueux, les grêlons s'entrechoquent, d'où résultent le bruit caractéristique d'une grêle imminente et des réunions de plusieurs grêlons en ces blocs de glace dont le poids atteint et dépasse quelquefois un hectogramme.

Que les nuages perdent une partie de leur énergie électrique, soit par le fait de leur action mutuelle, soit parce qu'à l'appel du nuage inférieur le sol verse de l'électricité par tous ses points en saillie, et la grêle, manquant de soutien, tombera sur la terre.

On a proposé des *paragrêles*, espèces de paratonnerres économiquement construits et dont on couvrirait le sol. C'est là une question très-grave et qui exige de très-sérieuses études. Un paragrêle, en supposant qu'il fût efficace, aurait pour premier effet de faire tomber la grêle là où il serait placé, parce qu'en désélectrisant le nuage inférieur il lui enlèverait la force qui tient les grêlons suspendus. Empêcher la grêle de se former est une pensée chimérique, parce que le phénomène prend naissance à des hauteurs inaccessibles à nos moyens d'action. Il suffirait d'ailleurs, si cela était possible, d'empêcher les grêlons d'atteindre des dimensions désastreuses et, par conséquent, de hâter leur chute. C'est à des paragrêles naturels, comme les arbres, qu'il faudrait songer ; mais la première chose à faire est évidemment d'étudier les circonstances favorables ou défavorables à la chute des grêles, circonstances que nous ignorons encore et dont l'existence nous est révélée par la persistance avec laquelle certaines contrées sont frappées par ce fléau, tandis que d'autres, situées à côté des premières, n'en sont jamais atteintes.

§ VII. — Formation des orages.

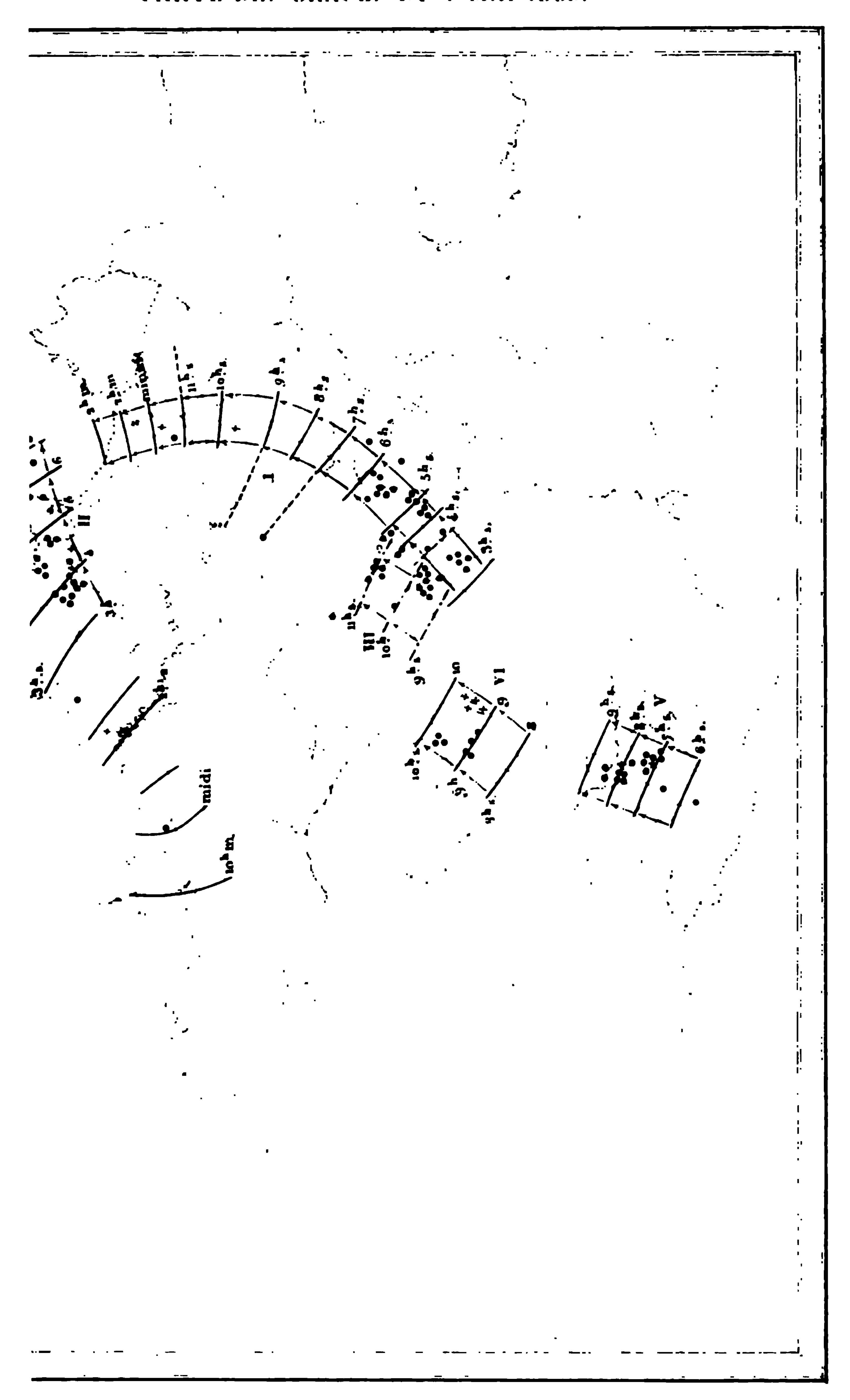
Les orages sont très-fréquents sous la zone torride, et nulle part ailleurs ils ne montrent une aussi formidable énergie. Dans la région dite des calmes, sous l'immense anneau formé par les nuages épais qui signalent au loin la nappe équatoriale ascendante, le roulement du tonnerre est presque continuel; ses éclats se répercutent, de nuage en nuage, en échos prolongés, comme au milieu de nos grandes chaînes de montagnes. Si l'on pouvait admettre, avec Volta, de Saussure, Pouillet..., que l'évaporation est la source principale de l'électricité atmosphérique, la surabondance de cet agent, dans les régions équatoriales et pendant la saison pluvieuse, aurait une explication facile. Les alizés, dans leur long parcours à la surface d'un Océan fortement chauffé se sont chargés d'une abondante provision de vapeur, qui va se condenser en grande partie dans les régions élevées de la zone des calmes.

Les nuages ainsi formés, devenus bons conducteurs, tamisent pour ainsi dire l'électricité des masses gazeuses qui contribuent à les produire. La récolte serait abondante comme la source de l'agent recueilli. Cette origine a été contestée par M. Gaugain. Faut-il admettre, dans le frottement de l'alizé contre la mer, ce que l'on refuse à l'évaporation? L'expérience est jusqu'ici moins favorable encore à cette dernière hypothèse qu'à la première. Nous avons, il est vrai, l'électricité des hautes régions; mais si nous voyons celle-ci cheminer de l'équateur vers les pôles, nous demandons à quelle source les régions équatoriales s'alimentent. On invoque les éruptions volcaniques. Nous admettons sans restriction qu'un volcan puisse agir comme une immense machine d'Armstrong où des globules de vapeur condensée s'électrisent dans leur frottement contre les parois de

leur orifice de sortie. Des orages accompagnent, en effet, les éruptions volcaniques auxquelles ils sont dus; mais les orages de l'Atlantique et du Pacifique, non plus que ceux de la France, ne peuvent avoir une semblable origine. La chimie souterraine n'est qu'un expédient en l'absence de toute explication sérieuse, et les tourmentes qui accompagnent les tremblements de terre sont bien plutôt la cause de ces oscillations du sol qu'ils n'en sont la conséquence. Sans doute un ouragan, quelque violent qu'on le suppose, ne peut avoir la puissance d'ébranler la croûte du globe, quand elle est bien assise; mais les tremblements de terre se préparent lentement, jusqu'au moment où l'équilibre est devenu tellement instable que la moindre cause occasionnelle suffit à le rompre. Les faibles oscillations du niveau des mers constituant les marées, et les marées incomparablement plus faibles encore, produites dans le noyau fluide recouvert par la croûte terrestre deviennent quelquefois ce grain de sable qui fait déborder un vase trop plein. M. Alexis Perrey a montré dans son grand catalogue des tremblements de terre que ces mouvements du sol sont notablement plus fréquents aux époques des nouvelles et des pleines lunes qu'aux époques des quadratures. Une tourmente, avec sa forte dépression barométrique locale et la pression exercée par le vent sur les obstacles qu'il rencontre, peut donc aussi être l'occasion attendue. Rien ne distingue les tourmentes accompagnant les oscillations du sol des tourmentes ordinaires, leurs caractères et leur marche restent les mêmes; elles existent avant, pendant et après la perturbation géologique. La dernière secousse ressentie à Bagnères de Bigorres a coïncidé avec le passage du centre d'un tourbillon sur les Pyrénées. Ce centre était la veille sur le golfe de Gascogne, et le lendemain sur le golfe du Lion : c'est la route ordinaire des tourbillons dans cette partie de l'Europe[1].

[1] Suivant le *Times*, le 26 janvier 1865 un tremblement de terre est ressenti à Londres. Un choc est signalé le même jour à Newport, dans le Monmousthire.

CARTE DES ORAGES DU 7 MAI 1865. Planche XVII



En désespoir de cause, des météorologistes éminents ont reporté jusqu'au soleil l'origine de l'électricité atmosphérique. On éloigne ainsi la difficulté sans la résoudre. Admettre que le soleil soit une source d'électricité positive ou négative, c'est faire une hypothèse qui n'a d'autre base que le fait dont on cherche l'explication. On peut considérer, il est vrai, le soleil comme une source de puissance vive apparaissant d'ordinaire sous forme de lumière et de chaleur et pouvant se transformer en électricité; mais c'est à la surface du globe ou dans l'atmosphère qui l'environne que la transformation se produirait; c'est donc là que la naissance de l'électricité atmosphérique doit être recherchée.

Cet appel à toutes les causes possibles de dégagement de l'électricité montre que la question est restée très-obscure; elle mérite cependant de fixer l'attention des physiciens, et c'est par de nouvelles expérimentations qu'elle doit être résolue.

A mesure qu'on s'éloigne des régions tropicales, l'électricité atmosphérique devient moins abondante et ses manifestations bruyantes sont plus rares. En Europe, les orages exigent pour se produire des circonstances particulières qui ne s'y réalisent que d'une manière accidentelle.

Nous avions admis d'abord, avec la plupart des météorologistes, que les orages sont des phénomènes locaux éclatant aux lieux mêmes où ils se sont formés, ou à peu de distance de ces lieux. Dès la première année de la publication des cartes météo-

Enfin, le lendemain 27, d'autres oscillations du sol effrayent les habitants de Brighton, Leicester, Liverpool. Tous ces faits coïncident avec le passage d'une bourrasque dont le centre, situé le 26 à l'Ouest de l'Angleterre, était le 27 vers Londres, et le 28 continuait sa marche à travers l'Allemagne. Arrivé le 29 en Russie, il fut accompagné d'une violente tempête dans la steppe. La neige, soulevée par un vent furieux du N. E., interceptait complétement le jour, et l'ouragan, calmé le lendemain, fit place à un froid tel, que la mer d'Odessa fut prise sur une très-grande étendue.

Le 1er février, un nouveau tremblement de terre est signalé à Boston par M. Lowe; il coïncide également avec le passage d'une nouvelle bourrasque.

rologiques[1], il nous avait paru, cependant, que ces phénomènes coïncident avec certains mouvements de l'atmosphère; mais l'été touchait à sa fin, les occasions de vérifier ce fait nous firent défaut. Les orages reparurent en mars 1864; un petit nombre de villes, Lisbonne, Madrid, Ajaccio, Livourne et Rome nous les signalaient le lendemain de leur apparition, et il était difficile de fonder des inductions générales sur des données aussi éloignées l'une de l'autre. Cependant, la coïncidence des météores électriques avec le passage des bourrasques se montra d'une manière si régulière que nous nous crûmes autorisé, dès le 6 juin, à comprendre ces phénomènes dans le cadre de nos prévisions, en partant du seul examen des cartes météorologiques de chaque jour et des inflexions présentées par les courbes d'égale pression du baromètre. Bien des incertitudes planaient encore sur ces débuts; aussi, dans le Bulletin international du 30 juin 1864, nous exprimions le désir que nos correspondants voulussent bien nous adresser tous les renseignements qui parviendraient à leur connaissance relativement aux orages; l'étude et la marche de ces perturbations, disions-nous, a, pour l'agriculture, une aussi grande importance que l'étude et la marche des tempêtes en a pour la navigation. Nous revenions sur cette demande dans le bulletin du 16 juillet 1864. « Les orages sont nombreux cette année, disions-nous, et souvent ils ne sont accusés que d'une manière fugitive, particulièrement dans le Midi de la France, ainsi qu'il est arrivé pendant la première quinzaine de juin. L'ouragan de grêle qui, le 6 juin, ravagea l'arrondissement de Nérac, ne s'annonçait le même jour à sept heures du matin que par une baisse barométrique très-circonscrite dans les environs de Rochefort. Cet indice a été suffisant pour nous faire donner un premier avertissement aux ports de la Méditerranée; mais, dans les conditions actuelles, nous n'avons pu

[1] Septembre 1863.

songer à signaler l'orage à la vaste région comprise entre le golfe de Gascogne et le golfe du Lion. Les orages suivant, avec assez de régularité, certaines routes déterminées et constantes, lorsque ces routes auront été bien fixées sur les cartes, l'apparition de l'un de ces météores en un point permettra de préjuger ceux qu'il devra ultérieurement frapper et de donner des avertissements utiles, parce qu'ils seront circonscrits. Il y a là un grand travail que l'Observatoire poursuit avec zèle, mais pour lequel il ne pourrait rien sans documents. » Ces considérations furent développées par M. Le Verrier, avec l'autorité qui lui appartient, dans une lettre adressée à Son Exc. le ministre de l'instruction publique et insérée dans le Bulletin du 29 juillet 1864. Cettre lettre devint l'occasion d'une circulaire adressée en date du 15 août 1864 par Son Exc. le ministre de l'instruction publique à MM. les préfets, et fut le point de départ de la vaste organisation météorologique étendue à toute la surface de l'empire.

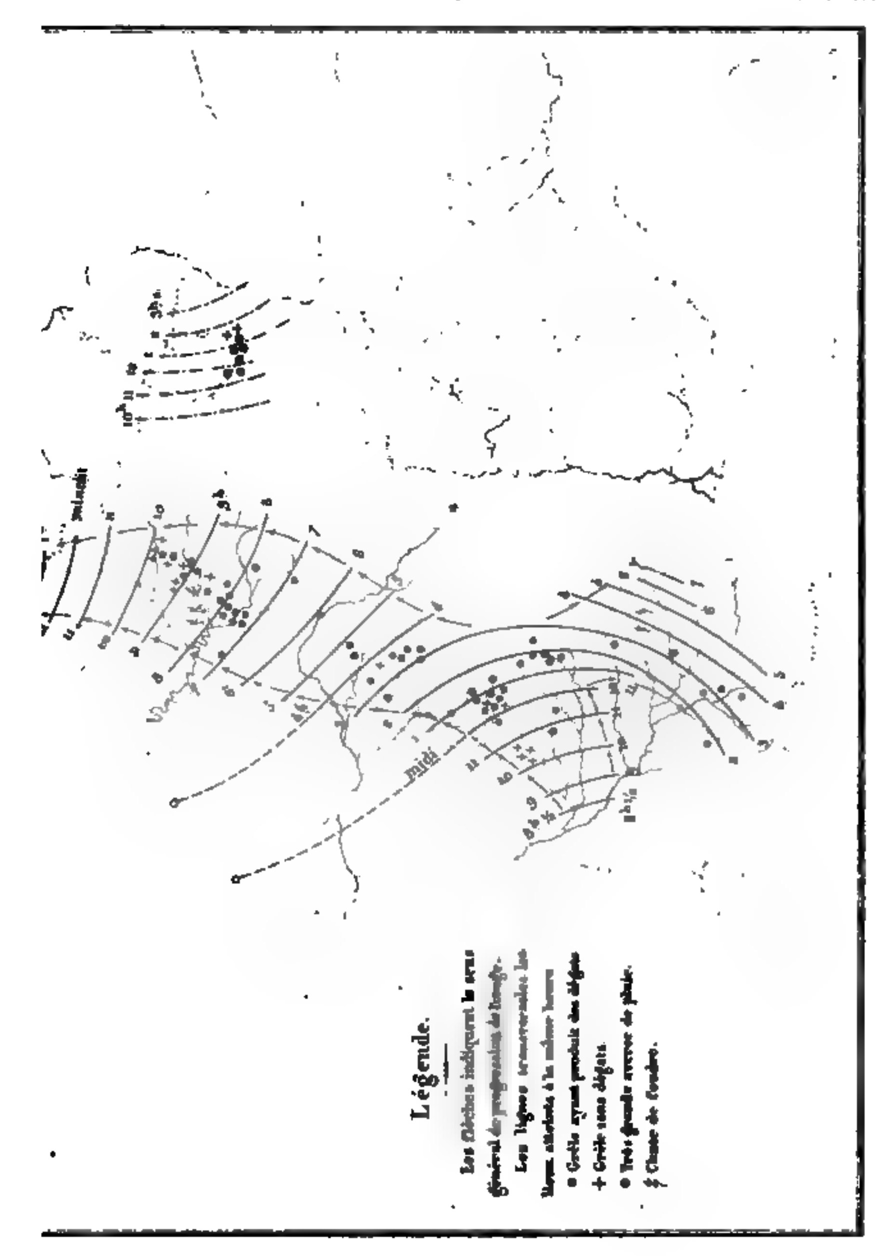
Les écoles normales primaires furent chargées d'observer régulièrement de trois en trois heures, depuis 6 heures du matin jusqu'à 9 heures du soir, le baromètre, le thermomètre, le psychromètre, l'état du ciel, la direction et la force des vents; de mesurer la quantité de pluie ou de neige tombée dans les vingt-quatre heures et de noter tous les accidents météorologiques parvenus à leur connaissance. Des fonds furent votés par les conseils généraux pour munir les écoles des instruments nécessaires; ces instruments, construits sur un modèle uniforme, ont été vérifiés avec soin à l'Observatoire et installés dans des conditions dont la convenance fut constatée sur les plans fournis par les directeurs des diverses écoles. Les observations sont généralement faites avec un très-grand soin et fourniront des données précieuses sur le climat de la France.

Cette première organisation a été promptement suivie d'une autre ayant pour objet spécial l'étude des orages. Des commissions

furent instituées dans chaque canton afin que le phénomène pût être signalé partout où il apparaîtrait; des commissions centrales siégeant au chef-lieu du département furent chargées de discuter les documents recueillis dans leur circonscription, de les pointer sur une carte départementale spéciale à chaque orage, de les discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour que les informations soient complètes. Des fonds ont été votés pour cet objet par les conseils généraux. Le département de l'Aisne ayant été organisé le premier, les documents qu'il fournit nous permirent d'exécuter une carte-spécimen de l'orage du 12 avril 1865, destinée à uniformiser le travail des commissions départementales. Les cartes partielles sont concentrées à l'Observatoire impérial, où M. Fron, après avoir discuté ces documents, réunit sur une même carte de France tous les orages qui ont éclaté le même jour à la surface de l'empire. L'année 1865 a donné lieu à cinquante cartes générales étudiées avec soin et formant un Atlas livré à la publicité : nous en avons extrait les planches XVII, XVIII et XIX, en les réduisant à notre format[1].

Il ressort nettement de ce travail d'ensemble que les orages ne sont point des phénomènes localisés comme on l'avait admis jusqu'alors. Ils s'étendent toujours à une partie considérable de la France et quelquefois la traversent dans toute son étendue, sur une ligne plus ou moins large, mais dépassant deux ou trois cents lieues en longueur. Ils exigent, pour se former, une certaine préparation de l'atmosphère, ce qui permet de prévoir leur arrivée. Ils accompagnent constamment les mouvements tournants de l'air; mais, pour provoquer l'orage, ces mouvements ont d'autant moins besoin d'être fortement caractérisés

[1] Dans ces planches, les lignes parallèles passent chacune par les points où l'orage a éclaté à la même heure : les flèches indiquent le sens de progression générale du phénomène; les points noirs marquent les lieux où la grêle a occasionné des dégâts plus ou moins graves; les croix correspondent aux grêles à peu près inoffensives, et les traits brisés à des chutes de foudre.


midi
Légende.

que la température est plus élevée et l'air plus chargé de vapeurs. Le 6 juin, jour où l'arrondissement de Nérac a été dévasté par la grêle, le baromètre, à sept heures du matin, marquait 761^{mm},6 à Rochefort, tandis qu'à Napoléon-Vendée, Limoges, Montauban, Bordeaux, Bayonne et sur l'Océan, c'est-à-dire tout autour de Rochefort, sa hauteur variait de 763,5 à 765 millimètres. La baisse barométrique était même très-sensible dès la veille à Lorient et à Rochefort; mais des dépressions aussi circonscrites ne pouvaient recevoir une interprétation conforme aux faits observés ultérieurement, avant que l'expérience eût montré les rapports constants qui existent entre ces deux ordres de phénomènes. La période orageuse des 7, 8, 9 et 10 mai 1865 est remarquable sous ce rapport.

Du 6 au 7 mai, une baisse barométrique existant sur les côtes du Portugal se transporte sur le Nord-Ouest de la France où la courbe d'égale pression 760 devient très-sinueuse le 7 à 8 heures du matin : trois concavités distinctes s'y présentent, dirigées vers le Nord-Ouest ou vers l'Ouest. Cette courbe descend des côtes de Norwége vers les Pays-Bas, dont elle contourne les côtes à distance, puis elle se relève pour passer au-dessus de Londres. Le centre de cette première concavité assez mal définie paraît être sur les côtes orientales de l'Écosse[1]. De Greenwich, la courbe redescend au Havre, puis remonte au-dessus de Cherbourg, dessinant ainsi une seconde concavité très-étroitement circonscrite. La courbe traverse ensuite la Bretagne, passe près de Lorient, puis s'infléchit vers l'Est pour décrire une troisième concavité dont le centre peut être situé à 50 ou 60 lieues dans l'Ouest de Rochefort. A chacune de ces concavités correspond une bourrasque de très-faible intensité par elle-même; à chacune d'elles correspond aussi un groupe d'orages dans la planche XVII.

[1] Le 7 mai était un dimanche, jour où le service météorologique anglais est suspendu, et où nous ne recevons d'Angleterre que l'observation de Greenwich.

Le premier débute dans la Manche à 10 heures du matin, puis se propage à l'Est jusqu'à 7 heures du soir où on perd ses traces dans la Belgique. Des cas de foudre sont signalés dans le Calvados, la Seine-Inférieure et la Somme; des grêles mêlées de pluie tombent entre 2 et 3 heures dans la Seine-Inférieure sans y produire de dégâts; mais un véritable désastre occasionné par des grêles énormes et des torrents de pluie vient frapper les départements de l'Aisne, du Nord, des Ardennes et le duché du Luxembourg. Les lieux les plus maltraités sont marqués sur la carte par des points noirs.

A la seconde bourrasque, dont le centre est peu éloigné du Havre, correspond le second groupe d'orages, qui débute dans le Puy-de-Dôme vers 3 heures du soir, traverse les départements de l'Allier, de la Loire, du Rhône, de l'Ain, de Saône-et-Loire, du Jura, du Doubs, de la Côte-d'Or, de la Haute-Saône, des Vosges, de la Meurthe, de la Meuse et de la Moselle et arrive à 2 heures du matin le 8 sur la frontière de la Belgique. L'Allier, la Loire et la Saône-et-Loire sont très-maltraités par la grêle.

Un troisième groupe d'orages, reconnaissable à l'orientation de l'Est à l'Ouest des lignes horaires, correspond au troisième centre de dépression. La grêle tombe de 6 heures à 8 heures et demie du soir dans les départements du Gers et du Lot-et-Garonne, de 9 heures à 9 heures et demie dans la Haute-Vienne ; elle reparaît une seconde fois dans l'Allier de 9 heures à 11 heures du soir. Tous ces départements sont plus ou moins maltraités.

Le lendemain, 8 mai, la bourrasque du golfe de Gascogne s'est rapprochée de Bayonne et des Pyrénées, mais la pression barométrique s'est relevée en son centre ; des orages peu graves éclatent en divers points de la France, particulièrement à l'Ouest, au Centre et dans la Suisse.

Du 8 au 9, cette même bourrasque traverse la France du Sud-Ouest au Nord-Est, et le 9, à 8 heures du matin, son cen-

tre est sur la pointe orientale de l'Angleterre, dans le voisinage de Yarmouth ; mais une quatrième bourrasque apparaît sur l'Atlantique, à la hauteur de la pointe de Bretagne, marchant lentement vers les côtes Ouest de France; son centre est établi le lendemain 10 dans le voisinage de Rochefort. Dans la journée du 9, deux groupes d'orages s'étendent sur une grande partie de la France; nous les avons figurés dans la planche XVIII. Le premier, correspondant au troisième mouvement tournant dont l'action électrique est en grande partie épuisée n'occasionne que des dégâts insignifiants dans la Meurthe, la Haute-Saône et le Bas-Rhin. Le second est des plus remarquables par sa durée, par la longueur de son parcours et aussi par le curieux exemple qu'il donne du mode de circulation de l'air à la surface de la France dans certaines circonstances. Les nuages dans ce cas ont fait, pour ainsi dire, fonction de corps flottants accusant le sens de progression des couches moyennes de l'atmosphère. Les orages de ce second groupe ont débuté dans la Gironde vers 8 heures et demie du matin, marchant vers l'Est-Nord-Est ; en approchant du plateau central, le courant s'est partagé en deux branches, l'une se relevant vers le Nord-Est, l'autre s'inclinant vers le Sud-Est. Cette dernière branche a éprouvé un ralentissement sensible dans sa marche sur les rampes des Cévennes et s'est élargie rapidement vers les Pyrénées. Les derniers orages signalés y ont paru à 7 heures du soir aux limites de l'Aveyron et de l'Hérault. La première branche, au contraire, a pris une marche de plus en plus rapide vers le centre de la France. Les grêles et les dégâts produits par elles ont commencé presque au début de l'orage dans la Dordogne et la Haute-Vienne ; ils se sont continués jusqu'à 4 heures dans la branche méridionale et jusqu'à 10 heures dans la branche septentrionale. Pendant que les couches moyennes suivaient une marche si bien caractérisée et si conforme aux indications fournies par les pressions barométriques, les vents des girouettes

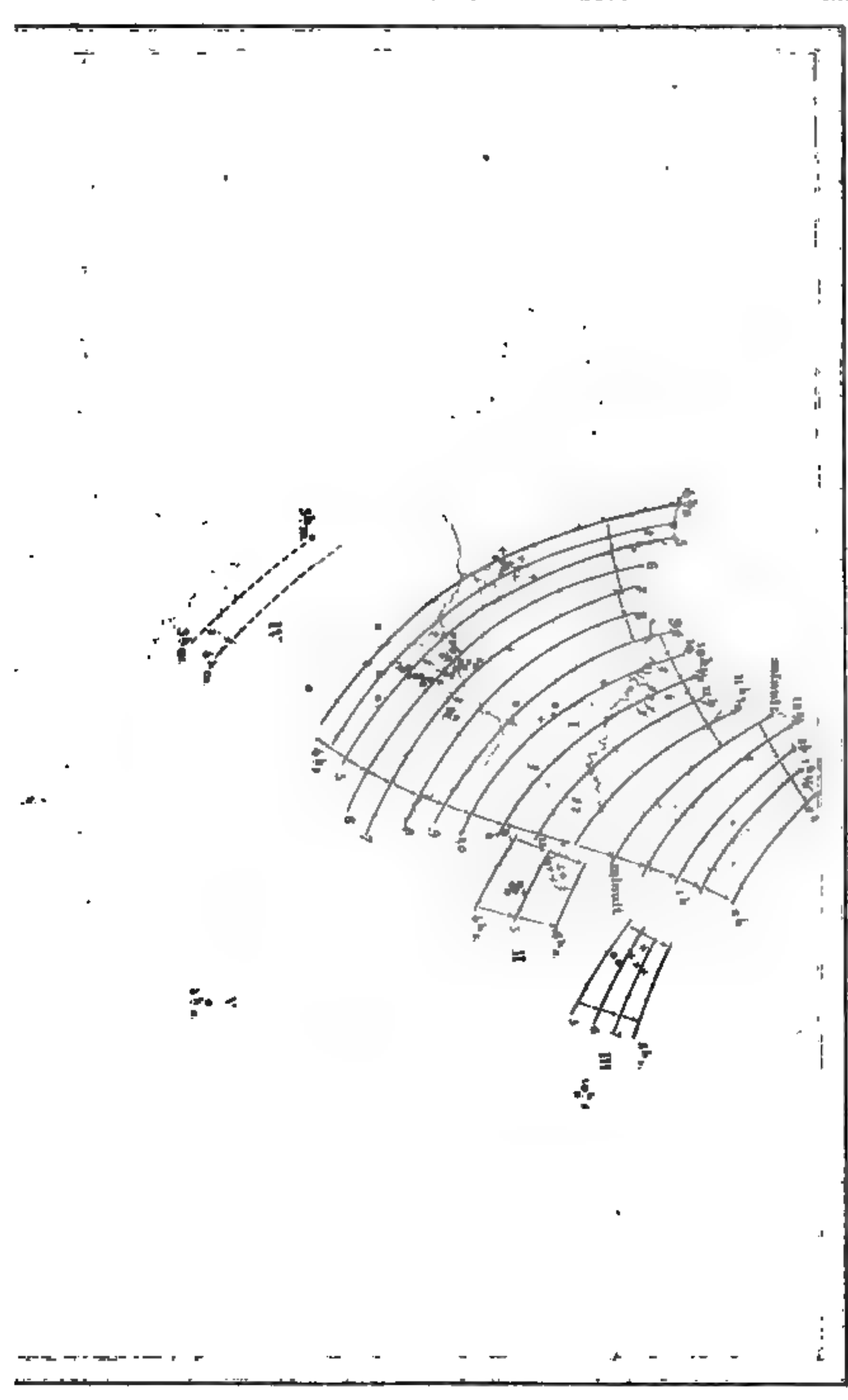
affectaient des directions généralement tout autres et très-variables ; des variations semblables se montraient localement dans la marche des nuages, dont l'agitation est toujours très-grande pendant les forts orages.

Une dérivation des courants d'air vers le Midi de la France, analogue à celle du 9, s'est continuée dans la journée du 10 ; de nombreux orages ont encore éclaté durant ce dernier jour, mais leur étendue et leur gravité ont été beaucoup moindres.

La planche XIX appartient à une époque plus chaude. L'aspect des courbes barométriques rappelle celles du 7 mai ; les sinuosités sont toutefois beaucoup plus larges, les bourrasques passent au Nord de l'Angleterre et par conséquent à une grande distance de nos côtes ; elles sont très-peu intenses. Nous retrouvons, comme le 7 mai, trois groupes d'orages assez distincts. Deux d'entre (2 et 3) eux sont peu importants à cause de l'éloignement extrême des mouvements tournants auxquels ils se rattachent etqui sont eux-mêmes très-faibles ; l'autre (1), est remarquable par la largeur de la zone envahie. La chaleur de la saison a évidemment suppléé au peu d'activité de la cause à laquelle nous attribuons ces manifestations électriques dans nos climats.

Le mois de janvier 1866 nous offre un exemple contraire. Un tourbillon d'une grande violence a sévi sur l'Europe du 7 au 11 janvier et a causé de nombreux sinistres maritimes ; malgré la rareté des orages dans cette saison, le tonnerre et la foudre ont éclaté le 9 en divers lieux.

Dans les temps ordinaires, l'atmosphère de l'Europe n'est pas assez abondamment fournie en électricité et en vapeur d'eau, les mouvements de l'air dans le sens de la verticale n'y sont pas assez actifs pour que les orages s'y forment d'eux-mêmes comme dans la zone équatoriale ; mais qu'un mouvement tournant s'y produise, l'air des hautes régions se trouve abaissé vers la terre dans l'axe du tourbillon ; il y apporte sa basse température d'où résultent les nuages ; il y apporte aussi son électricité que les



nuages recueillent. Les éléments de l'orage se trouvent ainsi réunis à un degré d'autant plus élevé que l'appel d'air des régions supérieures est plus actif, ou que la saison d'été a rendu la température plus rapidement décroissante avec la hauteur, les couches inférieures étant celles qui s'échauffent le plus rapidement et le plus fortement. On doit donc en été se défier d'autant plus d'une baisse du baromètre qu'elle est circonscrite à un espace moins étendu. Elle est l'indice d'un mouvement tournant trop faible peut-être pour descendre jusqu'au sol, mais suffisant pour engendrer des orages. Ceux-ci ne se répartissent pas uniformément sur tout le pourtour du disque tournant ; ils se montrent surtout dans les points les plus humides ou les plus chauds, c'est-à-dire dans la portion située sous le vent de la mer. Dans les mouvements tournants qui abordent les côtes occidentales de la France, ils apparaîtront sur la portion du disque tournant qui regarde le Sud-Est, là où les vents soufflent d'entre S.S.E et O.S.O. Dans les mouvements passant un peu plus haut, sur l'Angleterre, ils se montreront sur la portion du disque dirigée vers le Sud, là où les vents soufflent d'entre S.O. et N.O. A mesure que le mouvement pénètre dans l'intérieur de l'Europe en s'éloignant de la mer, l'air se dépouille progressivement de sa vapeur et de son électricité, les orages deviennent moins nombreux et leur diminution porte surtout sur la saison froide pendant laquelle les circonstances sont moins favorables à leur production. Lorsque le mouvement se rapproche de la Méditerranée, il trouve dans l'air chaud et humide qui recouvre cette mer de nouveaux éléments pour la formation des orages, dont le nombre s'accroît considérablement.

Des orages peuvent cependant se former, même en Europe, par un mécanisme semblable à celui des régions tropicales, lorsque des circonstances locales donnent aux courants ascendants de l'air une vitesse exceptionnelle dans nos climats et que

les conditions générales de l'atmosphère sont d'ailleurs propices. Les brises qui s'élèvent sur les flancs des montagnes transportent dans les hautes régions l'air humide et chaud des plaines; les nuages ainsi formés tamisent toute l'électricité des masses d'air qui leur ont fourni leur vapeur. Les orages qui en résultent, quelque violents qu'ils puissent être, resteraient isolés s'ils ne se rattachaient à un mouvement général ayant préparé l'atmosphère. Un effet analogue se produit lorsque les vents soufflent dans la direction des hauts plateaux. L'air en s'élevant graduellement sur leurs plans inclinés se refroidit et dépose à une certaine hauteur son humidité sous forme de nuages qu'il traverse en continuant son mouvement. Les orages sont donc plus fréquents dans certains pays montagneux que dans les pays de plaine. Les montagnes ont encore une autre influence rendue manifeste par la carte du 9 mai, planche XVIII.

Les courants établis à la surface de la France que nous prenons pour exemple, sont divisés et déviés par les grandes saillies du sol ; les orages qui s'y produisent subissent la même influence. Ecartés ainsi des sommets, ils se reportent en plus grand nombre sur leurs pentes à un niveau variable avec la hauteur moyenne des nuages orageux. C'est ainsi que le F. Ogérien, directeur de l'école chrétienne de Lons-le-Saulnier, discutant les orages qui, de 1820 à 1865, ont occasionné des dégâts dans le département du Jura, montre que les points où ces phénomènes sont les plus fréquents et occasionnent les pertes les plus nombreuses sont intermédiaires entre la Plaine (pays de Bresse) et les hauts plateaux. Ce sont le vignoble et le premier plateau dont les hauteurs sont comprises entre 300 et 1000 mètres au-dessus du niveau de la mer, la Bresse ayant elle-même une altitude moyenne de 200 mètres environ.

Dans les bassins peu accidentés de la Loire, de la Seine, de la Somme, la marche des orages est peu altérée; les nuages, s'ils ne sont pas très-bas, franchissent monts et vallées sans en

éprouver de déviations bien sensibles. Les courants d'air à la surface du sol n'en sont pas moins concentrés dans les vallées par les faibles saillies qui les bordent; et lorsque les nuages s'abaissent fortement, ainsi qu'il arrive dans beaucoup d'orages, on les voit obéir à l'action de ces courants partiels, se concentrer dans certains passages et sévir particulièrement dans certaines localités. Les ondulations du sol ont donc une influence très-marquée sur la répartition des orages en France; mais la nature du sol et du sous-sol, leur degré d'humidité, la nature des végétaux qui les recouvrent, ont une action non moins grande, probablement, sur les chutes de grêle et de foudre. C'est là un point très-obscur de la science : la discussion des orages anciens, commencée par les commissions départementales, hâtera la solution de cette importante question.

CHAPITRE XIII

ORIGINE ET MARCHE DES TEMPÊTES

Les tempêtes ont des origines multiples; mais parmi les influences variables qui concourent à leur production, il en est une que l'on retrouve partout et qui domine toutes les autres: c'est l'inégalité des vitesses de translation de l'Ouest à l'Est des divers points de la surface du globe. Nous avons donné, chap. IV, la mesure de cette inégalité pour nos latitudes moyennes; nous en avons vu les effets sur la circulation générale de l'atmosphère et des mers, et sur la conservation des grands tourbillons déjà formés. Nous allons montrer la même cause intervenant dans la formation de ces mouvements tournants, quelles que soient leur origine et leurs dimensions.

§ 1er. — Trombes.

Les travaux des commissions départementales sur les orages de 1865, et leur discussion, par M. Fron, nous font assister à la production de plusieurs trombes, et nous montrent les conditions générales de l'atmosphère au milieu desquelles elles se

sont produites. L'une d'elles a pris naissance dans la journée du 16 juillet 1865, dans l'Indre-et-Loire, vers la limite méridionale de la région envahie par le principal groupe des orages qui ont signalé cette journée. Elle a été décrite avec beaucoup de soins et de détails, par M. de Tastes, professeur de physique au lycée de Tours et président de la commission départementale d'Indre-et-Loire. Beaucoup d'autres nous ont été signalées dans le cours de l'année 1865. Toutes se sont développées, comme celle du 16, sur des régions envahies par des orages. On ne peut donc pas attribuer aux trombes les orages qui déjà existaient avant elles; mais elles ont contribué à augmenter l'énergie des manifestations électriques et en ont aggravé les effets. Il est également impossible de confondre ces trombes avec le mouvement tournant beaucoup plus étendu auquel se rattachent les orages; elles sont trop éloignées de leur centre. Peltier, qui a étudié d'une manière spéciale ces météores désastreux, nous paraît en avoir indiqué l'origine vraie, et l'on peut aisément tirer de ses observations l'explication des particularités remarquables qu'ils présentent.

Résumons d'abord les descriptions données par des témoins oculaires de la fameuse trombe de Chatenay, que l'on peut considérer comme un des types des trombes éléctriques[1].

Le 18 juin 1839, un premier orage éclata vers onze heures du matin, en se propageant dans la vallée qui sépare le village de Chatenay des collines d'Écouen. Un second orage apparut bientôt après, amené par des nuages moins élevés que ceux du premier et animés d'une grande vitesse. Une forte agitation s'était manifestée dans les nuées orageuses, et les éclats du tonnerre avaient redoublé d'intensité, lorsque tout à coup les nuages inférieurs s'abaissèrent vers la terre, et se mirent en communication avec elle. Dès cet instant, toute explosion cessa

[1] Peltier, *Traité des trombes*, 1840.

de se faire entendre, mais on vit s'élever un énorme tourbillon de poussière s'avançant avec un roulement confus et dévastant tout sur son passage. Un observateur le représente comme un immense cône renversé, dont le sommet était rouge de feu et distant de 6 à 8 mètres de la surface du sol. Au sommet de la colline de Chatenay, où il parut quelques instants stationnaire, on vit des vapeurs grisâtres descendre en tournoyant le long du cône.

A La Croix du Frèche des arbres furent abattus, mais plusieurs d'entre eux avaient leur tronc fendu et divisé en lattes minces, comme s'ils avaient été frappés par la foudre. Dans le parc du château de Fontenay tous les arbres de haute futaie furent arrachés. Sur la ligne suivie par le centre de la trombe, on les trouva renversés pêle-mêle, tandis que, de chaque côté, ils étaient couchés parallèlement, leur sommet dirigé vers la ligne centrale. Un mur abattu fut partagé en cinq fragments alternativement jetés d'un côté et de l'autre. Le carrelage d'une terrasse fut presque entièrement soulevé et transporté au loin. Près de l'étang, une décharge produisit une large flamme entre l'eau et l'extrémité du cône. Un grand nombre de poissons furent tués et vinrent flotter à la surface. A partir de ce moment, la trombe s'amincit graduellement, devint plus transparente et finit, à un kilomètre environ de Chatenay, par se diviser et disparaître.

Nous rencontrons dans cette description deux ordres de faits bien distincts, ayant entre eux un lien commun : des faits dus à l'écoulement d'une énorme quantité d'électricité vers le sol, d'autres que l'on ne peut attribuer qu'à un mouvement giratoire violent.

L'intervention de l'électricité est rendue évidente par la lueur phosphorescente observée à l'extrémité du cône, par l'éclatement des arbres en lattes longitudinales, par l'arrachement du carrelage de la terrasse, par la décharge à la surface

de l'étang. Le mouvement tournant est accusé par la disposition des arbres arrachés et couchés dans le parc de Fontenay et par le mouvement en spirale des lambeaux de nuages circulant de haut en bas autour de la trombe. Sur le trajet de la trombe, il s'est produit une aspiration dont l'énergie a été suffisante pour soulever des corps pesants, et qui avait nécessairement sa réciproque dans les nuages. Ceux-ci étaient violemment attirés vers la terre par la réaction du sol sur l'électricité qu'ils contenaient, jusqu'à ce qu'ils vinssent se décharger dans le voisinage des objets terrestres. L'air, dans l'axe du cône, a été animé d'un mouvement de descente rapide et continu, accompagnant l'écoulement électrique. Or, un tel mouvement ne se fait jamais sans être accompagné d'un mouvement tournant plus ou moins marqué.

Plaçons de l'eau dans un entonnoir fermé à son orifice inférieur, et quand l'eau est bien calme débouchons l'orifice. A mesure que l'écoulement s'effectuera, nous verrons la surface de l'eau se creuser au centre, la masse entière se mettre à tourner sur elle-même, la concavité centrale se creuser de plus en plus et finir par s'allonger en un cône aigu jusque vers l'orifice. Au début du mouvement tournant, les plus faibles inégalités dans les résistances à la sortie du liquide, peuvent renverser le sens de la rotation; mais ces résistances, fussent-elles rigoureusement symétriques tout autour de la verticale passant par le centre de l'orifice, que la rotation n'en aurait pas moins lieu par le seul fait de l'inégalité des vitesses de translation des diverses molécules d'eau dans le sens de l'Ouest à l'Est. A mesure que l'écoulement s'effectue, l'eau afflue vers l'orifice de tous les points de la masse fluide située à l'entour jusqu'aux parois latérales du vase et jusqu'à la surface du liquide. Nous avons ainsi un ensemble de vitesses convergentes vers un centre commun; les vitesses dirigées du Sud au Nord, tendent à dévier légèrement vers l'Est, les vitesses dirigées du Nord au Sud

tendent à dévier légèrement vers l'Ouest : l'opposition entre elles n'est plus complète ; les molécules animées de ces vitesses, au lieu de se rencontrer au centre, tendent à passer à côté l'une de l'autre en tournant autour de l'axe. Le sens de la rotation sera précisément le même que celui des tourbillons de notre hémisphère ; la vitesse de rotation dépendra non-seulement de l'écartement des points de départ extrêmes, mais encore de la grandeur des vitesses convergentes, et, par conséquent, du volume d'eau écoulé par seconde de temps.

Il en est de l'air comme de l'eau. Tout écoulement d'air produit de haut en bas dans une atmosphère calme à d'autres égards, ou toute concentration d'air en un point central, ne peut se produire sans une tendance à la rotation. La rotation sera d'autant plus rapide que l'écoulement sera plus prolongé et plus soutenu, qu'il s'étendra sur un cercle d'un plus vaste rayon, et que les vitesses convergentes seront plus grandes. Dans la trombe de Chatenay et dans toutes les trombes de même origine, ces conditions sont réalisées à un haut degré. L'électricité circule mal dans l'air même chargé de vapeur condensée ; une espèce d'adhérence a lieu entre ces deux fluides de natures si diverses. L'électricité est attirée des hautes régions vers le sol avec une force égale à celle avec laquelle elle attire la surface terrestre ou les corps qui la recouvrent ; elle produit, par sa descente, l'entraînement de l'air où elle s'écoule. Ce mouvement vertical prend la forme gyratoire, et la rotation, développant une force centrifuge proportionnée à sa vitesse, tend à débarrasser l'extrémité inférieure de l'axe du tourbillon de l'air qui y afflue par cet axe même. Elle favorise ainsi le mouvement descendant et le développement des effets qui précèdent.

Malgré l'extrême exiguïté de leur cercle d'action comparé à celui des cyclones, les trombes acquièrent souvent une violence extraordinaire due à l'énergie de l'appel central produit par

les actions électriques. Le 18 juin 1863, plusieurs localités de l'arrondissement de Loudun (Vienne) ont été ravagées par un de ces dangereux météores. A Ceaux, le clocher a été renversé, la toiture et la charpente de l'église ont été enlevés et sont retombés à terre de telle sorte que la charpente s'est retrouvée sur la toiture; entre la rivière et Ceaux, portion de pays très-boisée, le passage de la trombe a été marqué par une trouée de 4 à 5 kilomètres de longueur sur une largeur moyenne de 200 mètres; de gros noyers ont été enlevés et transportés à plus de 100 mètres. Les effets sont encore plus effroyables dans les pays chauds où l'activité des phénomènes électriques est plus grande que dans nos pays tempérés.

Les trombes peuvent se former sur mer comme sur terre; elles y sont même assez fréquentes. De petits bâtiments peuvent être submergés par elles; les plus gros peuvent en éprouver des avaries; mais le faible diamètre du météore et la lenteur de sa translation font qu'on passe rarement dans son cercle d'action; par contre, il est peu de navigateurs qui n'en aient vu se former.

L'ascension d'une colonne d'air fortement échauffée à la surface du sol peut produire des effets gyratoires analogues à ceux manifestés dans les trombes; mais la faiblesse du mouvement primitif entraîne celle du mouvement secondaire. C'est à cette cause, peut-être, qu'il faut rattacher les colonnes d'air que l'on voit tourbillonner quelquefois dans une atmosphère calme pendant les jours les plus chauds de l'été. Elles se soutiennent quelques minutes à peine en soulevant un peu de poussière. Leur durée éphémère montre que leur cause est purement accidentelle et transitoire. Le sens de leur rotation a été peu observé; pour quelques-unes, il semblerait inverse à celui des tourbillons de notre hémisphère, ce qui les classerait parmi les rotations accidentellement produites à la surface de séparation de deux courants d'air doués d'inégales vitesses. Au reste, le calme qui

règne souvent en été dans les régions inférieures de l'atmosphère n'implique pas nécessairement un calme semblable dans les régions moyennes. Il arrive quelquefois que les hautes vergues d'un navire sont brusquement fouettées par une forte brise, alors qu'à la surface de l'eau l'air est calme. Ces brises folles, dues à des inégalités dans les températures de l'air, suffisent à produire les mouvements tournants irréguliers que l'on remarquerait dans la saison chaude.

§ II. — Tornades de la zone des calmes équatoriaux.

Dans la zone des calmes équatoriaux les orages sont incessants et d'une extrême violence, mais prenant naissance au milieu d'une nappe d'air ascendante, ils tendraient à se maintenir à d'assez grandes hauteurs et ne produiraient, à la surface du globe, qu'une agitation peu marquée sans l'intervention de causes particulières.

La zone des calmes équatoriaux ne se trouve qu'accidentellement située sur l'Équateur; elle éprouve des déplacements annuels très-étendus à la surface des océans et particulièrement dans l'Océan Indien. Sur l'Atlantique elle est toujours au Nord de l'Équateur. Les alizés qui l'alimentent n'y pénètrent donc pas avec des vitesses symétriquement disposées par rapport à son plan. En nous reportant à la carte des alizés d'août et septembre (planche IX), nous voyons qu'au Nord de la zone l'alizé souffle d'entre E. N. E. et N. E. à une certaine distance des côtes d'Afrique, tandis qu'au Sud les vents y inclinent vers le S. et même le S. S. O. L'appel d'air produit par le continent africain dévie les deux alizés, en les reportant d'une manière très-marquée vers l'Est, mais la différence primitive de leurs directions n'en est pas amoindrie. La masse d'air qui compose

la nappe ascendante possède donc, sur sa face septentrionale, une vitesse vers l'Ouest supérieure à celle de la face méridionale. Des torsions de cette masse d'air sur elle-même et des mouvements tournants, à peu près permanents, sont la conséquence de cette inégalité des vitesses dont la cause première est encore la rotation de la terre et sa forme arrondie. Tant que la nappe ascendante conserve une grande épaisseur, les mouvements tournants sont naturellement faibles et ne produisent, à la surface de la mer, que des brises variables à peine suffisantes pour tendre les voiles ; mais lorsque survient un de ces orages si fréquents dans cette région, des effets secondaires donnent à ces mouvements tournants un surcroît d'activité.

La vapeur condensée tend, par son poids, à ralentir la force ascensionnelle de l'air ; les courants verticaux se divisent, laissant entre eux des espaces où s'établit un calme relatif. Les gouttes d'eau, en tombant dans cet espace, entraînent avec elles l'air qu'elles traversent, et les attractions électriques exercées entre la mer et les nuages, ajoutant leur action à la précédente, un courant descendant s'établit là où le calme s'était d'abord produit. Nous nous retrouvons alors dans des conditions analogues à celles qui donnent naissance aux trombes. Les vitesses des parallèles terrestres diffèrent très-peu entre elles dans ces régions voisines de l'Équateur ; mais la disparité des vitesses convergentes de l'air a été lentement préparée dans les régions alizées ; elle se traduit par de violentes rafales accompagnant les orages et les pluies dans la zone qui nous occupe. Dans de semblables conditions, on conçoit que les bourrasques doivent être très-fréquentes dans l'intérieur de cette zone, mais elles y sont généralement peu durables, parce que si elles sont très-multipliées, elles n'ont qu'un cercle d'action peu étendu.

Dans le voisinage des côtes d'Afrique la nappe équatoriale s'amincit, les masses d'air animées de vitesses discordantes se rapprochent ; cette discordance est d'ailleurs favorisée par un

plus grand éloignement de la zone des calmes de l'Équateur et par la configuration des côtes : les mouvements tournants appelés par les Espagnols *Tornados*, acquièrent une violence comparable à nos trombes les plus désastreuses.

D'après les notes recueillies, par le médecin anglais Boyle, pendant une station à Sierra-Leone, « l'approche des tornados est annoncée par l'apparition d'une petite tache claire, de couleur argentée, qui, se montrant d'abord à une grande hauteur dans le ciel, s'accroît bientôt et descend vers l'horizon avec un mouvement graduel, lent mais visible. En approchant elle s'entoure d'un anneau noir, qui s'étend dans toutes les directions et finit par l'envelopper dans une impénétrable obscurité. La vie semble alors suspendue sur terre et dans l'atmosphère ; une inquiète attente oppresse tous les êtres. L'esprit resterait abattu sous le coup d'une terreur anticipée, s'il n'était relevé par l'éclair d'une large flamme électrique, par les grondements de la foudre qui se rapproche rapidement et dont les éclats deviennent formidables. A ce moment, un tourbillon se précipite avec une incroyable violence de la partie la plus sombre de l'horizon, enlevant les toits, brisant les arbres et désamparant les navires qu'il surprend. »

Des phénomènes semblables apparaissent avec plus ou moins d'énergie dans le bassin de l'Orénoque, dans l'Amérique centrale, sur l'Océan Pacifique, dans l'Océan Indien, l'Inde et les îles de la Sonde. En dehors des trombes, on les observe même dans nos orages ordinaires, pendant lesquels l'air est toujours plus ou moins fortement agité. Les mouvements verticaux et circonscrits qui accompagnent ces orages font immédiatement apparaître la tendance à la giration résultant de la rotation terrestre : les effets produits sont en rapport avec leurs causes.

§ III. — Cyclones.

Les tornades sortent rarement de la zone des calmes équatoriaux ; elles y sont maintenues par la convergence des alizés. Quelquefois, cependant, il arrive qu'elles acquièrent des dimensions exceptionnelles, qu'elles s'étendent en hauteur jusqu'à la région des contre-alizés supérieurs et que, sous l'influence de ces derniers, elles sont entraînées hors de leurs limites ordinaires. Dans ces cas, heureusement très-rares, les tornades deviennent des cyclones.

Les cyclones se produisent presque toujours aux époques où la nappe équatoriale ascendante est arrivée à sa distance maximum de l'équateur, et lorsqu'elle est sur le point de rétrograder vers la ligne. La discordance des alizés est alors à son maximum elle-même. Ces vents sont moins réguliers et montrent des intermittences marquées dans leur vitesse ; la nappe ascendante est moins large et moins uniformément fournie, et lorsque des bandes alizées se raniment sous l'action d'une veine ascendante accidentellement renforcée; leur action concentrée sur cette veine laisse apparaître plus librement les conséquences de l'inégale inclinaison de leurs vitesses relativement à l'équateur. La veine s'élève en tourbillonnant sur elle-même jusque dans la région des contre-alizés, et s'éloigne de l'équateur dans la direction vers laquelle souffle l'alizé formant l'angle le plus ouvert avec cette ligne. Cette direction est le Nord pour l'Atlantique à la fin de notre saison d'été, c'est le Sud, au contraire, dans l'Océan Indien à la fin de notre hiver : dans les deux cas le tourbillon incline à l'Ouest sous l'influence générale des alizés.

Nous avons vu comment le cyclone, une fois formé et sorti de la zone des calmes, se propage entraîné par les mouvements

généraux de l'air, et comment il s'entretient par l'effet des abondantes condensations de vapeur qu'il détermine sur sa route et des orages qu'il y suscite. Le passage de ces météores est toujours accompagné par une épaisse voûte de nuages couvrant le ciel, par des torrents de pluie souvent accompagnés de grêle. Au centre même, ou à une petite distance autour de lui, on entend un continuel grondement du tonnerre, un bruit formidable ressemblant à des décharges d'artillerie.

Les circonstances au milieu desquelles naissent les grands cyclones sont assez rares; elles se reproduisent plus rarement encore à des intervalles de temps rapprochés. On a vu cependant deux de ces météores se succéder à quelques jours de distance. Quelquefois aussi un grand cyclone peut se diviser en deux plus petits et d'une moindre violence, lorsque leur mouvement giratoire est gêné par une grande saillie du sol ; enfin, sur la surface de leur disque tournant, au milieu des orages qui s'y développent, un nuage fortement électrisé peut être subitement refoulé vers la surface de la mer, se mettre en communication avec elle et devenir l'origine d'une trombe. Tous ces faits se retrouvent dans nos tourbillons d'Europe, dans ceux même dont la faiblesse est telle que le calme de l'air à la surface du globe les ferait passer inaperçus, si la connaissance de leurs lois ne les faisait reconnaître aux sinuosités qu'ils produisent dans le tracé des courbes d'égale pression barométrique. Cette uniformité des caractères généraux présentés par toutes les perturbations atmosphériques, faibles ou violentes, observées sur tous les points du globe, forme l'un des traits les plus remarquables de la météorologie ; elle donne à cette science un intérêt singulier pour un esprit naturellement enclin vers la synthèse des phénomènes qui nous entourent.

§ IV. — Tempêtes d'Europe.

Les troubles de l'atmosphère peuvent naître en Europe et même en France comme dans les régions tropicales ; les mêmes causes agissent partout, et partout elles produisent les mêmes effets. Pour que ces effets acquièrent toutefois une certaine ampleur, il faut un concours de circonstances qui se trouvent rarement réunies à un degré convenable sur notre continent. Les mouvements tournants produits par l'ascension rapide de colonnes d'air fortement échauffées n'y ont qu'une durée éphémère et sont toujours très-faibles. Les mouvements verticalement dirigés de haut en bas peuvent seuls donner lieu à des tourbillonnements un peu rapides, parce que l'air froid qu'ils amènent des hautes régions de l'atmosphère dans les régions moyennes détermine des condensations de vapeur, des chutes de pluie, de grêle ou de neige, parce que souvent aussi ils activent le jeu des forces électriques.

L'Europe fournit généralement peu de vapeurs à l'atmosphère. L'air qui la recouvre ne se charge d'une humidité suffisante que lorsque les grands courants marins la lui apportent de l'Océan ; mais dans leur trajet, si ce n'est à leur origine même, ces courants ont déjà rencontré des circonstances propices à l'établissement des mouvements tournants. Aussi voyons-nous rarement les courants du S. O. s'établir sur les côtes d'Europe sans être suivis de bourrasques ou de tourmentes déjà formées avant d'arriver jusqu'à nous.

Nous n'avions aucune idée préconçue relativement aux mouvements réguliers ou accidentels de l'atmosphère, lorsque nous avons été appelé à l'Observatoire impérial. Nos travaux sur l'électricité et les devoirs d'un enseignement un peu chargé avaient

jusque-là entièrement absorbé notre temps et nos forces. Les lecteurs du *Bulletin international* ont pu constater, au commencement de notre travail, nos hésitations sur l'origine des tempêtes; mais, dès le début de la construction des cartes synoptiques, nous avions été frappé par deux faits d'une grande importance : la marche progressive des tempêtes de l'Océan à l'intérieur de l'Europe et la forme rotatoire de ces tempêtes. Tous nos efforts se sont alors portés vers l'examen des signes précurseurs de leur arrivée sur nos côtes, et des lois de leur parcours à la surface du continent. Nous remettions à d'autres temps la recherche de leur origine et des causes qui les engendrent.

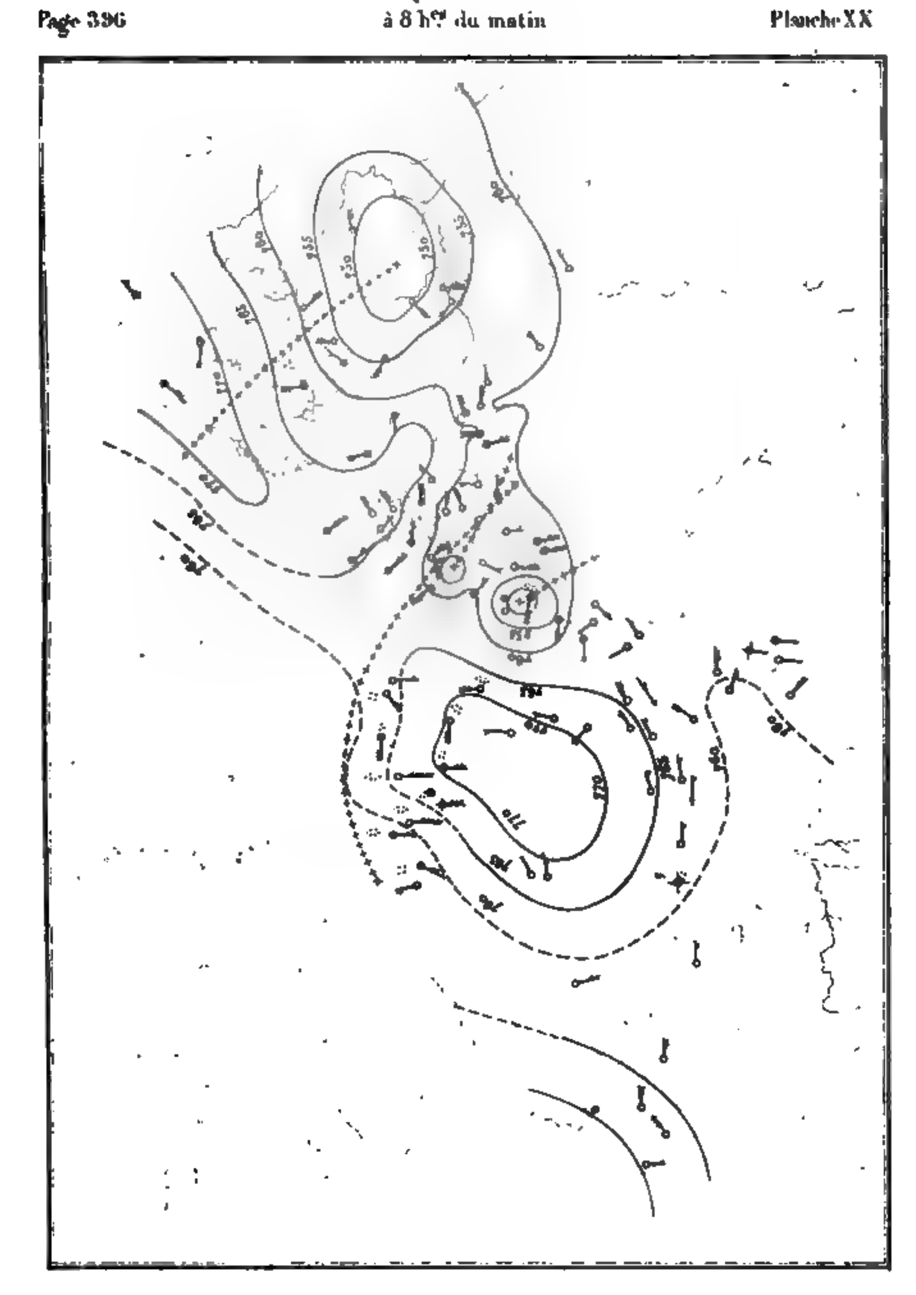
Notre interprétation des faits souleva de graves objections de la part d'un savant dont l'autorité est très-haute en ces matières. La controverse qui s'ensuivit eut sur les progrès de la météorologie la plus heureuse influence.

M. le directeur de l'Observatoire impérial, voulant réunir les matériaux nécessaires pour vider la question débattue, invoqua le concours de la marine française. Ce concours lui fut libéralement accordé; des feuilles d'observations réduites aux éléments indispensables pour le but proposé furent imprimées à plusieurs milliers d'exemplaires, et réparties entre les divers ports pour être distribuées aux capitaines des navires en partance; des instructions furent jointes à ces feuilles afin d'uniformiser les observations. Tous les navires de l'État et un grand nombre des navires du commerce prirent part à ce travail auquel s'adjoignirent bientôt les marins des Pays-Bas, de l'Angleterre et de divers autres pays. En peu de mois, cinq ou six cents feuilles d'observations faites à la surface de l'Atlantique furent réunies à l'Observatoire[1]. M. Sonrel fut chargé de les dépouiller, de les

[1] L'Association scientifique, voulant aider à ce mouvement, fonda divers prix en aveur des auteurs des meilleures observations.

CARTE SYNOPTIQUE DU 1er OCTOBRE 1864

à 8 h.es du matin



employer à l'extension des cartes synoptiques à la surface de l'Atlantique et de discuter les cartes ainsi prolongées. Ces cartes vérifient l'opinion depuis longtemps accréditée chez les marins que *le Gulf-stream est le père des tempêtes* de l'Atlantique Nord et des côtes d'Europe. Nous retrouvons à sa surface une partie des conditions observées dans la zone des calmes équatoriaux : une température élevée, relativement du moins, une abondante formation de vapeur, et, sur les deux rives du courant, des vents dissymétriquement inclinés sur sa direction. Des différences notables séparent toutefois ces deux situations et contribuent encore à rendre les perturbations plus fréquentes à la surface du Gulf-stream et jusque sur nos côtes. Dans la zone des calmes équatoriaux, la température varie peu des deux côtés de la nappe ascendante; la nappe d'air échauffée par le Gulf-stream est bordée de chaque côté, particulièrement sur sa rive gauche, et pendant l'hiver, par des masses d'air dont la température est beaucoup plus basse que la sienne. Dans la première région, les troubles de l'atmosphère sont enclos entre deux courants convergents d'une grande régularité et d'une grande étendue; ce n'est qu'accidentellement et dans les cas les plus graves qu'ils peuvent franchir ces limites et pénétrer vers de plus hautes latitudes. Le courant aérien qui règne sur le Gulf-stream se déverse naturellement à l'Est dans la direction de l'Europe; aucune des perturbations qui s'y produisent, et elles sont nombreuses, n'éprouve d'obstacle pour se propager jusqu'à nous. Des tempêtes locales peuvent sans doute naître à la surface même de l'Europe, conformément à l'opinion de M. le maréchal Vaillant : les trombes en sont un exemple, et nous verrons que quelques-unes des bourrasques de la Méditerranée ne se rattachent que d'une manière assez indirecte à des tourmentes venues de l'Atlantique. Si ces cas sont rares, c'est qu'ils ne peuvent se produire qu'au milieu d'une atmosphère préparée par les courants équatoriaux ou vents généraux du S. O.;

que ces vents, dérivés du grand courant aérien du Gulf-stream ont, dans leur long trajet avant d'arriver jusqu'à nous, trouvé des conditions favorables à la naissance des mouvements tournants, et que ces derniers suffisent à déterminer la condensation de la plus grande partie de la vapeur contenue dans la masse d'air avec laquelle ils se propagent. Les grandes chutes de pluie ou de neige, comme les orages, sont donc, en Europe, les effets ordinaires de tourbillons préexistants; mais, au milieu des grandes inégalités de niveau présentées par la surface de notre continent, des effets secondaires peuvent se manifester, et la cause dominante, la rotation terrestre, ne cessant d'agir, ces effets secondaires revêtent, comme les premiers, la forme giratoire.

La giration est une loi générale, comme la cause à laquelle elle se rattache. Les tempêtes se forment le plus souvent en certaines régions des Océans, parce que les conditions favorables à leur développement y sont réunies à un haut degré ; mais cette dernière loi ne peut avoir autant de généralité que la première.

Nous reproduisons, planches XX, XXI, XXII et XXIII, quelques-unes des cartes synoptiques prolongées sur l'Atlantique.

Pendant la durée du mois de septembre 1864, la zone des calmes équatoriaux et des hautes pressions barométriques résultant de l'abaissement du contre-alizé supérieur à la surface du globe s'était maintenue, dans sa partie orientale, à la hauteur des côtes d'Espagne. Au Nord de cette région, des bourrasques généralement peu intenses avaient traversé l'Angleterre, la Norwége et la Suède, puis s'étaient propagées au travers de la Russie en s'inclinant plus ou moins rapidement vers le Sud. Au-dessous de la même région des calmes, les alizés du Nord-Est s'étendaient jusqu'à l'Espagne. C'est une situation atmosphérique régulière pour cette partie de l'année. Sur la partie moyenne de l'Atlantique et surtout sur sa partie

occidentale, la zone présentait moins de constance dans sa position et dans son étendue. Tantôt elle se relevait jusqu'à une assez faible distance des bancs de Terre-Neuve, tantôt elle rétrogradait vers le Sud-Est sous l'influence de perturbations se propageant à la surface du Gulf-stream, de même que ses limites orientales à la surface de l'Europe étaient fréquemment allongées ou réduites sous l'influence des bourrasques transmises au travers de la Russie. Peu à peu, cependant, la région des alizés s'abaissa vers le Sud, dans sa partie occidentale ; puis, le jet parabolique des bourrasques perdant de son ampleur vers l'Est, un sillon se creusa dans l'atmosphère dans les parages des côtes Ouest de l'Europe. La carte du 1er octobre 1864, planche XX, se rapporte à cette situation de l'atmosphère qui se maintint jusque vers le 16 octobre.

Le 1er octobre, nous trouvons une première bourrasque dont le centre est dans le Sud-Ouest de l'Espagne ; elle y séjourna plusieurs jours, puis disparut finalement vers l'Afrique. Une seconde existe sur le golfe de Gascogne, se rendant au travers l'Isthme pyrénéen sur la Méditerranée où elle sévit le lendemain. Une troisième est en voie de formation dans les parages de Terre-Neuve et du Labrador ; on suit ses traces dans les premiers jours d'octobre jusque sur le golfe de Gascogne et la Méditerranée. Une quatrième couvre une grande partie de la Russie centrale ; son centre se trouvait le 30 septembre sur le golfe de Finlande, et le 29 sur les côtes de Norwége. Les lignes de points croisés marquent approximativement les routes suivies par les centres de ces bourrasques, à partir de leur situation reconnue le 1er octobre pour les trois premières. Elles semblent toutes être venues des régions occidentales de l'Atlantique, ou du moins de ses régions moyennes, autant qu'on peut en juger d'après des documents encore incomplets.

En dehors des quatre centres de dépression barométrique signalés plus haut, une zone à pression moindre que 760mm part

des îles du cap Vert, s'étale en éventail vers les côtes du Brésil et de la Guyane, puis se relève dans la direction des Antilles et s'étend vers le Nord sur le trajet du Gulf-stream. A l'intérieur de ce grand circuit, nous rencontrons une large région où les pressions atteignent graduellement et dépassent même 770^{mm}. Là règnent le calme et le beau temps. Une autre région semblable part du Nord de la Suède, pénètre obliquement sur l'Angleterre, puis sur la France et les Pays-Bas. C'est entre ces deux régions que passe la première ligne de bourrasques. Une seconde ligne contourne le Nord et l'Est de la seconde région occupée par les fortes pressions, et trouble l'atmosphère de la Russie. Peu à peu, les fortes pressions du Nord vont se concentrer vers les îles Britanniques et rétrograder vers le Sud-Ouest; la ligne des bourrasques de la Russie s'infléchit vers le Midi de l'Europe et revient sur la Méditerranée, tandis que les bourrasques méridionales s'éloignent parallèlement des côtes du Portugal pour se rapprocher des Açores.

Cette période est donc caractérisée par le peu d'ampleur de la circulation atmosphérique à la surface de l'Atlantique Nord. Une branche considérable du grand courant équatorial s'en détache à la hauteur de Terre-Neuve, s'étend jusque sur le Sud-Ouest de l'Europe, puis atteint graduellement moins haut vers le Nord et moins loin dans l'Est, jusqu'à se limiter aux Açores. Cette première dérivation ne suffit pas à épuiser le courant équatorial ; une seconde branche s'en détache, probablement à la hauteur de l'Islande, pénètre sur la Suède et la Russie, et, se limitant aussi graduellement dans le Nord et dans l'Est, finit par rétrograder jusque sur la Méditerranée à travers la Russie et l'Allemagne.

Le dernier terme de cette période se traduit par un abaissement de la ligne du Nord jusque sur les îles Britanniques et les côtes de France. A partir du 16 octobre, l'Angleterre et la mer du Nord sont tourmentées par le passage de plusieurs tempê-



775
770
765
760
755
750
745
740
735
765
765
760
745
750
765

tes. Le mouvement de recul se continuant toujours, ces tempêtes, à leur tour, atteignent de moins en moins haut et abordent l'Europe par les côtes Ouest de France, puis par le golfe de Gascogne, pour gagner la Méditerranée par l'Isthme pyrénéen.

Bientôt la circulation se ranime; dans les derniers jours d'octobre, une nouvelle ligne de bourrasques reparaît dans les régions septentrionales, et, à partir du milieu de novembre, un flot de mouvements tournants se succèdent presque sans relâche à la surface de l'Europe. Une agitation semblable se remarque sur l'Atlantique depuis les Bermudes jusque dans les parages de l'Islande, de l'Angleterre et de la France. La pression barométrique est généralement très-faible sur ces régions ; des dépressions locales s'y creusent encore cependant, et la direction des vents montre qu'elles correspondent à des centres de mouvements tournants se propageant dans le sens du mouvement général de l'atmosphère.

Le 9 décembre, un de ces mouvements tournants commence à s'incliner au Sud en pénétrant dans le golfe de Gascogne ; les fortes pressions barométriques reparaissent sur le Nord-Est de la Russie : c'est un double indice que l'ampleur de la circulation aérienne à la surface de l'Atlantique se restreint momentanément vers l'Est. Le baromètre est monté à 770^{mm} et au delà au centre de l'Océan, entre les Açores et les Bermudes. L'atmosphère tourne autour de cette région; au Sud, nous trouvons l'alizé du N. E., au Nord, règnent les vents d'O., à l'Ouest, sur le Gulf-stream, les vents soufflent du S. O., ils sont du N. O. ou du N. entre les Açores et les côtes d'Espagne et du Maroc. Les tourmentes suivent le même parcours au Nord de la ligne passant par les Bermudes et les Canaries. Elles traversent d'abord l'Angleterre et la France, puis les Açores et les Canaries.

La carte du 19 décembre 1864, planche XXI, correspond à la fin de cette période; elle en représente un des phénomènes les

plus saillants ; mais déjà les fortes pressions centrales ont disparu. Deux centres de dépression bien prononcés apparaissent, l'un au Nord-Ouest des Açores, l'autre à l'Ouest des côtes de Bretagne : ce sont les centres de deux mouvements tournants. Le premier se déplace avec une extrême lenteur dans la direction des Canaries qu'il dépasse le 24 décembre seulement. Le second, un peu moins lent dans sa marche, pénètre d'abord sur l'Angleterre, puis s'incline au Midi à travers la France et se trouve, le 22, transporté sur la Méditerranée. Les pressions sont considérables sur le Nord-Est de l'Europe ; mais l'absence de documents laisse la carte très-incomplète sur une grande partie de l'Atlantique. Nous ferons remarquer l'orage signalé dans le Nord-Est des Açores et marqué par un trait brisé, imitant la forme de l'éclair. On se rappelle que dans le même mois de nombreux orages ont accompagné en France le passage de la violente tempête des 9, 10 et 11 décembre 1865.

A mesure que la circulation se resserrait et se ralentissait ainsi sur la partie moyenne de l'Atlantique, elle se ranimait aux latitudes plus élevées où le courant équatorial, moins appauvri par les branches dérivées, pouvait transporter une plus grande masse d'air humide. A partir du 22 décembre, les bourrasques reparaissent sur le Nord de l'Europe, et y acquièrent une assez grande violence à la fin de décembre. Des oscillations du même genre se remarquent pendant toute la durée de la saison d'hiver.

L'automne de 1863 et l'hiver de 1863-64 en offrent de semblables. Malgré l'absence de documents recueillis sur l'Atlantique pendant cette période, nous sommes en droit de conclure, de la similitude des phénomènes observés sur le continent d'Europe, l'analogie des situations à la surface de l'Océan. Des renseignements parvenus isolément de divers points ne laissent d'ailleurs aucun doute à cet égard.

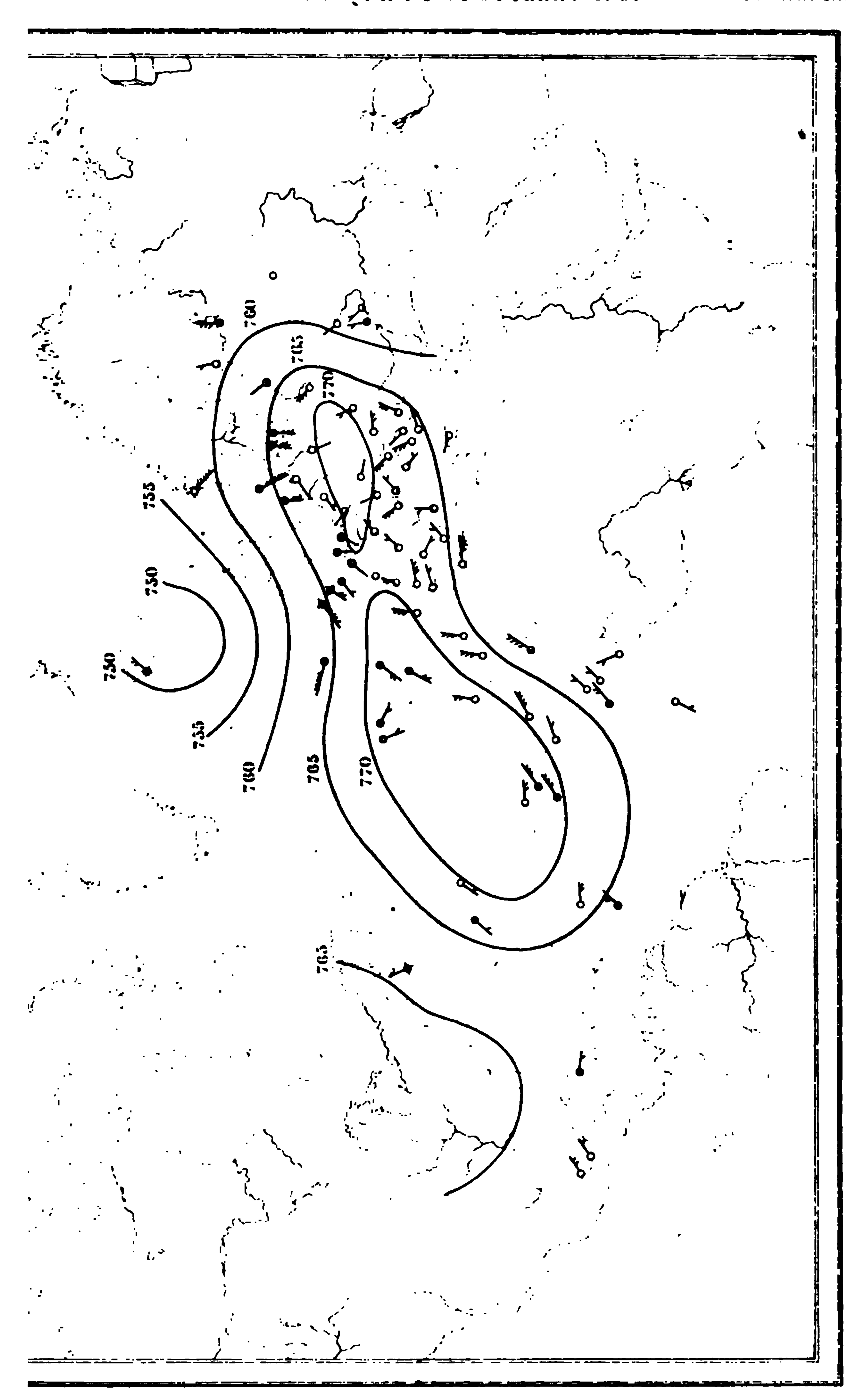
Une note sur les traversées de retour du golfe du Mexique

en France, rédigée, sur l'invitation de M. l'amiral Jurien de la Gravière, par M. Grasset, capitaine de frégate, et insérée dans la *Revue maritime et coloniale* (livraison de février 1864), contient, entre autres documents intéressants, des détails précis sur une tempête tournante essuyée du 1er au 5 décembre par le vaisseau mixte le *Duquesne*, commandé par le capitaine Maison-Neuve. En traçant sur une carte la route suivie par le *Duquesne* et les directions du vent pendant la tempête, et en faisant concourir à cet examen les observations recueillies à bord du *Tilsitt* et de l'*Eure*, qui se trouvaient dans les parages du *Duquesne*, on reconnaît que ce vaisseau a été atteint par le demi-cercle dangereux d'une tempête tournante se dirigeant vers l'E. N. E. avec une vitesse que l'on peut estimer à 10 ou 15 milles par heure. C'est à 100 lieues dans le Nord de l'île de Corvo des Açores que la tourmente s'est montrée au *Duquesne*, le 1er décembre, à midi, par une énorme baisse du baromètre et par une très-forte houle. Pendant la nuit du 1er au 2, le navire s'est trouvé dans le calme central du tourbillon, et comme il cheminait dans la même direction que la tempête avec une vitesse de 6 à 8 nœuds, il est resté assez longtemps dans le voisinage du centre. Il changea ultérieurement de direction en fuyant devant le temps, mais en ralentissant sa vitesse à cause des chocs formidables produits par l'hélice désembrayée, dans les avancées et les arrêts occasionnés par l'énormité des lames.

En résumant ces faits dans le *Bulletin international* du 11 mars 1864, nous y ajoutions les observations suivantes : « Si nous examinons maintenant les cartes météorologiques construites pour cette époque, nous trouvons que, dès le 1er décembre, les courbes barométriques présentaient cette concavité vers l'Ouest caractéristique de l'existence des gros temps en mer, et que le vent commençait déjà à fraîchir du S. E. à Penzance et à Brest, du S. à Lisbonne. Leur inflexion est encore plus marquée les 2 et 3. Le 4, le baromètre commence à mon-

ter sur le Sud de l'Espagne, et la concavité des courbes qui, les jours précédents, regardait franchement l'Ouest à la hauteur du golfe de Gascogne et de la Manche, a remonté vers le Nord-Ouest de l'Irlande ; de leur côté, les vents tournaient au S. sur l'Irlande et à l'O. sur l'Espagne. Le même mouvement se continue lentement les jours suivants, et le 7 le centre de dépression est au Nord de l'Écosse. Jusque-là, nos côtes ont encore peu souffert, parce que la tourmente a contourné l'Angleterre en restant à une assez grande distance; mais, le 8, elle a descendu sur la mer du Nord : le vent souffle avec force du N. O. à Cherbourg, Rochefort et Cette, de l'O. N. O. à Dunkerque, du S. E. sur la Baltique. Les jours suivants, elle continue son mouvement de translation vers le S. E., sous l'influence d'une pression barométrique qui est restée toujours considérable sur le Nord-Est de l'Europe. »

Cette tempête a suivi, dans la plus grande partie connue de son parcours, le trajét du Gulf-stream et de sa branche dirigée vers les mers polaires. Sa déviation vers le Sud par la mer du Nord est peut-être un simple effet du barrage opposé aux courants d'Ouest, à ces latitudes élevées, par la ligne des Alpes scandinaves. Une partie de ces courants franchissent la chaîne; mais la plus grande portion se divise en deux parts, dont l'une reflue vers le Sud, tandis que l'autre remonte vers le Nord. Il se produirait là, sur une grande échelle, un phénomène analogue à celui que nous avons constaté sur la France pendant les orages du 9 mai 1865. La proportion existant entre les courants dérivés au Nord et au Sud dépendrait du point de la chaîne vers lequel aborderait l'axe du courant principal et de l'inclinaison de cet axe sur l'axe de la chaîne. La bourrasque du 29 septembre au 1er octobre, planche XX, est venue perpendiculairement à la ligne des Alpes scandinaves et en leur milieu. Elle a franchi leurs sommets; mais ce fait est relativement rare : le plus ordinairement elles passent au Sud ou au Nord.


760
765
770
755
750
750
755
760
765
770
765

Dans les oscillations progressives du courant équatorial vers le Nord, tantôt c'est la branche dérivée sur le Finmark qui l'emporte et les bourrasques traversent la Laponie, la Finlande et la Russie septentrionale; tantôt c'est la branche dérivée sur la mer du Nord. Dans ce dernier cas, si le mouvement de l'atmosphère vers l'Est est très-prononcé, la déviation ne modifie que d'une manière locale la direction du courant aérien; les tourmentes, rejetées un peu au Sud vers le Danemark, remontent bientôt au Nord appelées par le vide qui se forme en arrière des monts norwégiens; elles traversent la Baltique et la Russie moyenne. Si le mouvement vers l'Est est ralenti, les tourmentes sont rejetées sur l'Allemagne et la Méditerranée. Il arrive alors d'ordinaire que leur circuit se restreint de plus en plus dans le sens de l'Est, finit par s'arrêter à la France, puis à l'Espagne, puis sur l'Océan, entre le Portugal et les Açores, jusqu'à ce que le courant équatorial, renforcé vers les hautes latitudes par l'affaiblissement de la branche dérivée des régions moyennes, reproduise la série des effets qui précèdent.

Ces divers mouvements exercent la plus grande influence sur l'état du ciel pendant la mauvaise saison. Tant que la ligne de parcours des mouvements tournants traverse l'Angleterre, la Suède, la Russie, le ciel est pluvieux ou couvert et la température est douce; c'est que ces régions sont sous l'influence du courant équatorial rendu chaud et humide par son long contact avec la mer. Dès que la pression commence à monter au-dessus de sa moyenne sur le Nord-Est de la Russie, on peut en conclure que le courant équatorial y perd de sa vitesse, que la trajectoire des bourrasques recule vers l'Est et que le froid nous menace. Les bourrasques peuvent reparaître dans les hautes latitudes et y ramener avec les pluies ou les neiges un adoucissement à la rigueur du froid; si le baromètre reste haut dans la concavité de leur trajectoire, le ciel y est serein et la température basse. C'est que dans cette région il pénètre encore

peu d'air apporté par les courants marins et que la chaleur solaire ne suffit pas à y compenser les effets du refroidissement nocturne. L'exposé sommaire de la marche des accidents météorologiques pendant l'hiver de 1863-1864 rendra sensible cette influence[1].

La fin de décembre 1863 avait été marquée par le passage de fréquentes bourrasques à la surface de l'Europe occidentale. Celles qui avaient pénétré le plus avant dans l'Est avaient traversé, du Nord au Sud, l'Allemagne et la Pologne. Cette situation indiquait un retrait vers l'Ouest dans leur ligne de parcours. Une dernière, apparaissant le 31 à l'Ouest de l'Irlande, traversait la France dans la nuit suivante et dans la journée du 1er janvier, qui furent très-pluvieuses, et se trouvait le 2 à 8 heures du matin transportée sur la Méditerranée. Chaque bourrasque avait été accompagnée d'une température plus douce et d'un ciel pluvieux; elle avait été suivie par un refroidissement temporaire, et la température avait subi de brusques variations. Un froid intense succède au dernier tourbillon et persiste depuis le 2 janvier jusqu'au 10, puis à un moindre degré jusqu'au 18 pour Paris et jusqu'au 24 pour la Provence et l'Italie.

Dès le 1er janvier, un centre de fortes pressions barométriques apparaît sur la mer du Nord, à la limite du trajet de la bourrasque dans cette direction. Les jours suivants, il s'étale et se renforce en se déplaçant lentement vers le Sud-Est de l'Europe. Le 9 janvier, ces pressions élevées s'étendaient de Stockholm à Naples. A partir de ce jour, la région occupée par elles éprouva un mouvement de recul vers le Nord, puis entra dans une période d'oscillations et de déplacements continuels; elle était entamée par la baisse tantôt d'un côté, tantôt d'un autre. Pendant cette assez longue période de calme et de froid pour l'Europe, les courbes barométriques accusèrent à plusieurs reprises

[1] *Bulletin international*, passim, de septembre 1863 à septembre 1864, époque pendant laquelle nous étions chargé de sa rédaction.

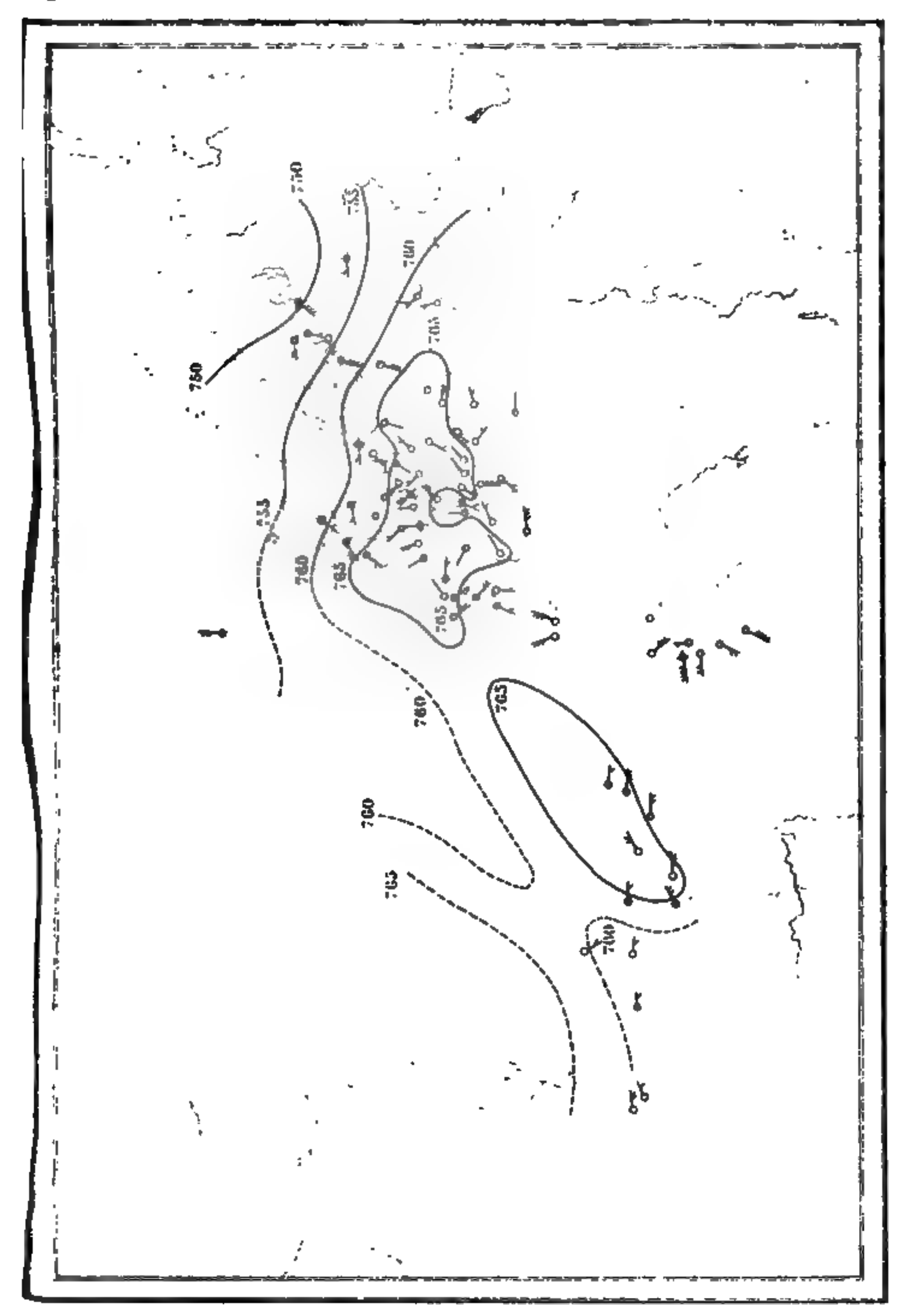
l'existence et l'approche des gros temps sur l'Atlantique ; mais ces gros temps, après avoir produit un peu d'agitation sur les côtes de France et d'Angleterre, s'éloignaient vers le Nord au delà du champ de nos observations, et nous ne les voyons reparaître que plusieurs jours après sur la Russie ; aussi, tandis que le 5 janvier, à 8 heures du matin, le froid était de 8°,8 à Montpellier, de 8°,6 à Paris, de 9°,6 à Bruxelles, de 14°,6 à Vienne (Autriche), de 16° à Leipzig, il était de 1° seulement à Saint-Pétersbourg.

La ligne des bourrasques, en se rapprochant de nos côtes, y adoucit peu à peu la température. Le 14 janvier, il faisait à 8 heures du matin un froid de 18°,6 à Leipzig, de 12°,5 à Vienne et à Turin, de 6° à Florence, tandis qu'il n'était que de 1°,8 à Paris et de 2°,8 à Saint-Pétersbourg. Le même jour, à la même heure, le thermomètre était au-dessus de zéro, de 7°,2 à Valentia (Irlande), de 3°,4 à Stockholm et de 5° à Haparanda, au fond du golfe de Bothnie, qui est la station la plus septentrionale de notre réseau. C'est à ces hautes latitudes que le courant équatorial se trouvait encore établi. Les jours suivants, sa tendance à s'abaisser vers l'Angleterre devint manifeste, particulièrement dans la carte météorologique du 20. Une tourmente passa au Nord des îles Britanniques et de la mer du Nord, franchit les Alpes scandinaves, et se trouva le 24 installée au Nord de la Russie, ayant son centre près de Saint-Pétersbourg. L'abaissement de l'axe du courant faisant un nouveau pas vers le Sud, une tourmente est déviée par le massif des monts norwégiens et refoulée sur l'Allemagne qu'elle traverse du 28 au 29, puis de là sur l'Italie et la Méditerranée. L'axe du courant se relève un peu et les tourmentes franchissent de nouveau la ligne des Alpes scandinaves ; mais la déviation vers le Sud se reproduit le 4 février, et la Méditerranée est frappée les 5, 6, 7 et 8 du même mois. Le mouvement de recul de la trajectoire des gros temps vers l'Ouest s'accentue de plus en plus jusqu'au 10 mars, malgré

quelques tentatives de retour. La distribution des températures à la surface de l'Europe change complétement d'aspect, et le 28 février, par exemple, il fait, à 8 heures du matin, 4°,9 à Paris, 9°,8 à Montpellier, 8°,5 à Florence, 9°,8 à Rome et à Lisbonne, 3°,2 à Vienne ; le thermomètre descend au-dessous de zéro, de 0°,3 à Leipzig, de 13°,4 à Pétersbourg, et de 20°,5 à Moscou.

La fin de l'hiver ou le commencement de l'été sont ordinairement marqués par plusieurs périodes pendant lesquelles les mouvements tournants sont ainsi rejetés sur l'Europe moyenne et y produisent une extrême variabilité dans l'état du ciel, des vents et de la température. Ces périodes coïncident avec la débâcle des glaces polaires et avec le déplacement vers le Nord des zones des calmes équatoriaux et tropicaux, phénomènes auxquels correspond une recrudescence dans le nombre des accidents météorologiques et des mouvements tournants qui en résultent.

Nous allons examiner actuellement les phénomènes observés pendant la saison chaude. A cette époque, les alizés du N. E. remontent jusqu'à la hauteur des côtes du Portugal et de l'Espagne, et quelquefois même jusque dans le voisinage de l'Irlande. L'excès de chaleur des eaux du Gulf-stream sur les eaux voisines est moins prononcé ; les glaces charriées vers sa rive gauche, dans les parages de Terre-Neuve, deviennent graduellement moins abondantes, elles descendent à des latitudes moins basses. Les bourrasques ne disparaissent pas cependant ; nous les retrouvons presque aussi nombreuses que pendant l'hiver, mais généralement beaucoup moins fortes. Elles apparaissent alternativement sur tous les points de l'Europe, comme dans les autres saisons ; mais leurs trajectoires à la surface de l'Atlantique semblent émaner de régions moins éloignées dans l'Ouest. Plusieurs de ces mouvements naissent probablement à une petite distance des côtes d'Europe, particulièrement ceux


750
755
760
765

qui se développent sur l'Espagne ou le midi de la France.

Pendant les premiers jours de juillet 1864, les bourrasques passent dans les parages de l'Islande, traversent la Norwége, la Suède, la Baltique, et s'inclinent vers le Sud-Est au travers de la Russie ; elles paraissent provenir de la région comprise entre Terre-Neuve et le Groënland. Un orage éclatait le 2 à Pétersbourg.

Tandis que le Nord est ainsi traversé par une ligne de mauvais temps, une autre ligne apparaît dans le Sud. Le 8, une tornade modérée se montre à une cinquantaine de lieues dans le Sud-Ouest de la péninsule, entre l'Espagne et les côtes du Maroc. Le 9, elle semble s'être transportée sur le Nord de l'Espagne et le fond du Golfe de Gascogne ; un orage avec grêle éclate à Madrid le même jour à 3 heures du soir ; le lendemain soir, un orage éclate à Berne, d'autres se montrent sur la Méditerranée, aux alentours de la Corse et sur l'Italie centrale. Le 12, une autre bourrasque orageuse apparaît sur les côtes Ouest de la France, Bordeaux signale un orage avec grêle ; Paris est atteint dans la nuit du 12 au 13, Berne le 13, une première fois à 7 heures du matin et une seconde fois à 1 heure du soir. Des bourrasques n'en continuent pas moins à traverser le Nord de l'Europe. Les deux régions envahies sont séparées l'une de l'autre par une zone où l'air est calme, le ciel généralement beau et la pression barométrique élevée. Cette zone couvre tout le centre de l'Atlantique, depuis les Bermudes et les Antilles jusque sur l'Angleterre et la France. La zone des calmes tropicaux, sur laquelle les contre-alizés supérieurs effectuent leur descente vers la surface du globe, se trouve accidentellement transportée à ces hautes latitudes sur la partie orientale de l'Océan et sur l'Europe occidentale ; elle sépare les vents d'O. soufflant au Nord des vents du N. E. soufflant au Midi de cette longue région.

Le premier courant superficiel, accusé par les vents d'O.,

donne lieu au phénomène ordinaire des bourrasques; le second, gêné à son origine sur le continent d'Europe par les inégalités du sol et par les courants locaux nés de l'opposition des températures sur terre et sur mer, donne lieu à des mouvements tournants peu intenses accompagnés d'orages. La route parcourue par ces mouvements n'est pas nécessairement celle des alizés du N. E.; elle est la résultante des vitesses initiales de toutes les masses d'air entrant dans son cercle d'action. Aussi voyons-nous la tornade du 8 juillet paraître se transporter du Sud-Ouest au Nord-Est de l'Espagne et s'étendre sur tout le golfe de Gascogne et le Sud-Ouest de la France où elle séjourne plusieurs jours. Le retour des bourrasques du Nord vers le Sud au travers de la Russie et de l'Allemagne, montre que le courant équatorial s'infléchit rapidement dans cette direction. Dans la concavité de sa trajectoire, le mouvement général reste indécis et peu marqué. Cette situation se prolonge pendant toute la durée du mois de juillet et la première partie du mois d'août. Les cartes synoptiques du 31 juillet et du 6 août, planches XXII et XXIII, nous en fournissent un double exemple.

Dans la carte du 31 juillet (planche XXII), nous voyons une bourrasque dans les parages de l'Islande; les jours suivants, elle se transporte avec une vitesse modérée vers l'Est; dans son passage, le 3 août, dans les environs de Saint-Pétersbourg, elle y occasionne un orage avec grêle. L'espèce de col compris sur le golfe de Gascogne entre deux régions à fortes pressions correspond à une ligne de mouvements orageux qui se propagent sur l'Espagne, le Midi de la France et la Méditerranée. Ces derniers se multiplient dans les premiers jours du mois d'août.

Le 6 (planche XXIII), nous remarquons sur la portion de la courbe 765 dessinée à la surface de l'Europe, et particulièrement dans sa partie méridionale, une série d'inflexions correspondant à autant de bourrasques orageuses. L'une des sinuosités, la première à droite, située sur l'Italie, se rapporte à des

orages qui éclatent, le même jour 6, à 1 heure du soir, dans le Sud-Est d'Ajaccio, et de 3 à 4 heures à Antibes et à Rome, probablement aussi en d'autres lieux. Une autre sinuosité très-nettement accusée sur le golfe de Gascogne correspond à une forte bourrasque orageuse qui a passé la veille, 5, dans les environs de Madrid et qui donnera de nouveaux orages, le lendemain 7, à Ajaccio et à Rome. Enfin une troisième inflexion se dessine dans l'Ouest de l'Espagne : le 7, une tempête avec tonnerre passe sur Madrid à 3 heures du soir.

Nous retrouvons des sinuosités semblables, mais plus larges, sur la partie septentrionale de la courbe 765. La sinuosité de droite correspond à une bourrasque qui disparaît dans le Nord-Est de la Russie. La seconde, regardant la mer du Nord, est le premier indice d'une autre bourrasque à laquelle se rattache un orage observé le 9 dans les environs de Saint-Pétersbourg. Le 10, un mouvement tournant couvrait le Nord de l'Europe, de la Manche au golfe de Finlande, et le 11 deux tempêtes dérivées de ce mouvement sévissaient, l'une sur la Baltique, l'autre sur la Méditerranée, entre l'Italie et l'Espagne, pour disparaître, le lendemain 12, la première dans le Nord-Est, la seconde dans le Sud.

Pendant ce temps, nous voyons se produire sur le Nord-Ouest de l'Atlantique un changement marqué dans l'état des vents et des pressions barométriques. La zone des calmes tropicaux recule progressivement vers le Midi en commençant par son extrémité occidentale : ce mouvement est déjà très-prononcé du 31 juillet au 6 août. Bientôt le courant équatorial se développe en largeur, et son activité s'accroît. De fortes bourrasques accompagnées d'orages se montrent sur cette partie de l'Océan située entre Terre-Neuve et les Antilles, où le calme régnait durant le mois précédent. L'ébranlement gagne peu à peu vers l'Est, en restant d'abord à des latitudes peu élevées ; des mouvements tournants de plus en plus accentués traversent l'Atlantique et vien-

nent atteindre d'abord l'Espagne, puis le golfe de Gascogne et la France, leurs lignes de parcours s'élevant progressivement vers le Nord. Les bourrasques du Nord participent de ce surcroît d'activité dès son début : la tempête des 10 et 11 en est la conséquence. Les bourrasques du Sud sont plus lentes à nous parvenir, à cause du trajet plus grand qu'elles ont à parcourir ; les documents sont d'ailleurs peu nombreux sur la partie occidentale de l'Océan, l'Amérique ne nous ayant pas encore envoyé les relevés des observations faites par ses marins. Le 20 août, cependant, une assez forte dépression barométrique se dessine à 150 lieues environ dans le Nord-Ouest des Açores, marquant le centre d'une véritable tempête dont la carte du jour précédent, malgré ses données incomplètes, semble accuser l'existence plus à l'Ouest. Le 21, la tempête s'est rapprochée du continent ; la direction des alizés est renversée jusqu'à la hauteur du parallèle de 25 degrés dans le Sud des Canaries, où le vent souffle du S. O. ; le disque tournant s'étend au moins jusqu'au 50° parallèle sur le méridien 25 degrés Ouest. Ce même jour, les courbes d'égale pression barométrique présentaient sur l'Europe l'inflexion caractéristique de l'existence des gros temps en mer. Le 22, la tourmente commençait à envahir la France ; le 23, elle avait son centre sur le Nord de la France, et le 24 sur le Nord de l'Allemagne. Jusque-là, les bourrasques du Nord étaient restées distinctes de celles du Midi ; mais, à mesure que ces dernières se renforcent en atteignant progressivement plus haut vers le Nord, la ligne septentrionale s'en rapproche par un mouvement inverse, et, à partir du 22 ou du 23, elles semblent confondues. Le 23, les alizés sont rétablis aux Canaries ; ils empiètent graduellement vers le Nord, et le 25 ils ont remonté à la hauteur du golfe de Gascogne. Ils rétrogradent un peu sur la fin du mois : les bourrasques passent sur le Nord-Ouest des Iles Britanniques pour se rabattre ensuite sur la Russie.

L'Atlas des mouvements de l'atmosphère à la surface de l'Atlantique et de l'Europe pour chacun des jours de l'année 1864, et auquel nous avons emprunté les cartes des planches XX, XXI, XXII, XXIII, est encore très-loin d'être complet; aussi, bien des points restent-ils encore obscurs relativement aux circonstances dans lesquelles naissent les tempêtes ou les bourrasques de l'Europe; ces points ne pourront même être complétement éclaircis que lorsque les cartes auront pu être prolongées à la surface de l'Amérique et du Pacifique. Quelques données montrent déjà que l'apparition des plus gros temps sur nos côtes est souvent accompagnée d'un effet semblable sur les côtes occidentales de l'Amérique du Nord, mais à une latitude différente. D'un autre côté, nos hivers les plus froids coïncident généralement avec des hivers pluvieux et doux en Amérique et réciproquement. Un certain balancement semble donc s'effectuer entre les deux continents; mais pour en apprécier la nature et les causes, il est nécessaire de les étudier tous les deux par des procédés semblables et d'une manière également complète. Si, sous ce rapport, il reste beaucoup à faire, des faits d'une grande importance n'en sont pas moins acquis dès ce jour.

Les phénomènes consécutifs aux déformations fréquemment observées dans le tracé des courbes d'égale pression barométrique nous avaient fait considérer ces déformations comme les signes indicateurs de l'existence des gros temps en mer, et nous en faisions la base de nos avertissements aux ports. Les cartes complétées par les observations maritimes nous montrent qu'en effet, les tourmentes les plus violentes comme les plus faibles bourrasques nous viennent de régions plus ou moins éloignées sur l'Atlantique, et qu'elles sont toujours accompagnées, en leur centre, d'une baisse barométrique proportionnée à leur degré d'énergie et s'irradiant à une distance d'autant plus grande qu'elles sont plus intenses. La base de nos apprécia-

tions s'en trouve donc assurée et fortifiée. Nous avons pu constater, de plus, le mécanisme des oscillations de leurs lignes de parcours à la surface de l'Europe, ce qui nous permet de pressentir de plus loin sur quelles régions elles devront exercer leur action et de préjuger même l'état général de l'Océan, au moins dans sa partie le plus ordinairement fréquentée par nos navires, d'après l'état actuel de l'atmosphère en Europe : ce sont là des points qui intéressent le plus la marine.

La force et la direction du vent ont moins d'importance pour l'agriculture que l'état du ciel. Les variations de la température, la répartition des pluies et des beaux jours, l'apparition des orages et des grêles, sont les points qui touchent le plus les cultivateurs dont les bonnes ou mauvaises récoltes sont liées aux intempéries des saisons. Or ces intempéries elles-mêmes sont la conséquence immédiate du passage des bourrasques et des allures affectées par les courants généraux de l'atmosphère dont elles marquent le parcours. Déterminer ces allures à un moment donné, c'est déjà fixer les régions où les accidents météorologiques peuvent se produire : qu'une bourrasque apparaisse, il devient possible de déterminer les points *menacés* par les mauvais temps.

Les *probabilités* qui découlent ainsi de l'inspection de la carte synoptique du jour ne peuvent encore s'étendre bien loin sur l'avenir, parce que chaque perturbation passe rapidement à la surface du continent, que la scène varie sans cesse, que les renseignements fournis au centre par voie télégraphique sont limités à l'Europe, tandis que les perturbations naissent en dehors d'elle. Elles n'atteignent pas non plus à la hauteur d'une certitude, à cause de la multiplicité des influences qui concourent au résultat final et dont plusieurs nous échappent. Le météorologiste, en présence de sa carte synoptique, est dans la situation du médecin en présence d'un malade. L'un doit étudier chaque symptôme en le comparant aux caractères gé-

néraux de la maladie et au tempérament particulier du malade; l'autre doit peser chaque signe en le rapprochant de l'état général de l'atmosphère et des conditions spéciales à chaque région. L'un et l'autre portent des jugements; ils ne formulent ni des sentences ni des prédictions.

La météorologie, envisagée au point de vue des probabilités du temps, est une science naissante, dont les règles n'ont pas encore été formulées et livrées à la discussion qui éclaire toutes les questions et stimule tous les progrès. Dans notre labeur des trois années écoulées depuis notre entrée à l'Observatoire, nous avons souvent été distrait de nos études par les difficultés inséparables d'une organisation vaste et complexe; bien des causes de découragement se sont produites; mais à mesure que nous pénétrions plus avant dans la discussion des faits observés, nous voyions l'horizon de la science s'étendre devant nous, son utilité pratique devenir plus claire et mieux assise. Les services rendus nous montraient ceux qu'on devait attendre et la faveur croissante du public pour une science jusqu'alors trop dédaignée nous était un puissant motif de redoubler nos efforts. Des progrès sérieux ont été réalisés, l'interprétation des signes du temps est devenue plus facile, elle tend à embrasser une plus grande période. Tant qu'il nous sera donné de suivre cette voie, nous y apporterons la persistance et le dévouement sans lesquels nulle œuvre n'est durable.

CHAPITRE XIV

LA PRÉVISION DU TEMPS

La prévision du temps à courte échéance, ainsi que nous l'entendons, c'est-à-dire l'indication des changements rendus probables dans l'état du ciel et des vents, par l'état présent de l'atmosphère, est un problème relativement simple dans les régions intertropicales. Les grands changements s'y produisent à des époques déterminées; ils y sont précédés par des modifications très-appréciables dans l'aspect du ciel et la marche des instruments. Les accidents météorologiques y sont eux-mêmes ou très-réguliers ou très-rares, et, dans ce dernier cas, la gravité des perturbations peut d'autant mieux mettre en garde contre elles que l'oscillation quotidienne du baromètre y est d'ordinaire plus constante. Le problème est plus complexe dans nos régions où le ciel varie sans cesse. Toutes les données, tous les signes, de quelque nature qu'ils soient, doivent être pris en considération. Chacun d'eux joue son rôle dans la discussion de chaque jour. Si nous établissons entre eux une certaine hiérarchie, si nous attribuons une importance dominante aux mouvements du baromètre [1], c'est que

[1] *Instructions sur l'usage du baromètre pour la prévision du temps*, par Marié-Davy (*Bulletin international*, 8 septembre 1864 et suivantes.)

ces mouvements sont déjà comme un résumé de tous les autres signes. Ces derniers n'en sont pas moins l'objet d'un examen spécial et détaillé. Il est même certains phénomènes dont nous n'avons pas encore parlé, parce que les instruments qui les accusent ne sont pas à la portée de tous, et que nous consultons cependant avec soin : tels sont les mouvements de l'aiguille aimantée. (Voir chap. XV.)

Dans l'exposé qui va suivre, nous nous bornerons à l'Europe, et plus particulièrement à la France. Nous commencerons par un résumé rapide des principaux faits qu'il importe de remettre en mémoire.

§ Ier. — Rotation des vents.

Dans l'état normal de l'atmosphère, et abstraction faite des *accidents* qui s'y produisent d'une manière très-fréquente, un grand courant aérien traverse l'Atlantique Nord dans le sens général de l'Ouest à l'Est, aborde les côtes de l'Europe à peu près à la hauteur moyenne des Iles Britanniques, puis s'incline graduellement vers le Sud-Est et le Sud, à mesure qu'il pénètre plus avant sur le continent.

L'abondance de ce courant varie dans des limites très-étendues suivant la saison; son lit se déplace tantôt vers le Nord, tantôt vers le Sud; l'ampleur de l'arc qu'il décrit à la surface de l'Europe avant de se transformer en un courant du Nord est également très-variable; souvent il se divise en plusieurs branches situées à différentes latitudes.

La vitesse de son mouvement est en moyenne d'environ huit ou dix lieues à l'heure dans les hautes régions; elle diminue dans les régions très-voisines de la surface du sol par l'effet des résistances qui s'y produisent. Les vents superficiels, ou

les vents accusés par les girouettes, se trouvent souvent complétement modifiés dans leur vitesse et leur direction, soit par l'effet des saillies du sol, soit par les brises locales naissant des inégalités de température en des lieux voisins.

Sur les rives droite et gauche du courant, on remarque d'ordinaire des remous ayant des directions plus ou moins opposées à celles du courant principal; des remous semblables se produisent au-dessous du lit du courant lorsque, au début de son apparition dans le lieu qu'il avait abandonné par l'effet de ses oscillations, il se trouve confiné dans les régions élevées de l'atmosphère. Il est donc aussi essentiel d'observer la vitesse et la direction des nuages que de consulter les vents des régions inférieures. On n'oubliera pas, toutefois, qu'à vitesse égale les nuages ont une marche apparente d'autant plus lente qu'ils sont plus élevés. C'est particulièrement sur le bord méridional du courant équatorial que les remous du N. E. sont le plus prononcés, parce que l'air entraîné des régions tropicales vers les pôles dans le courant principal, doit être restitué à l'équateur par des courants de dérive et que ces derniers sont facilités par le foyer d'appel situé dans les régions Sahariennes.

Un ralentissement ou une accélération dans la vitesse de ce double mouvement sur une portion limitée de l'Europe sont des signes également importants à noter, quoiqu'à des points de vue différents.

Cet état général se trouve singulièrement altéré dans ses apparences par ce que nous avons appelé plus haut les *accidents ;* au milieu des variations incessantes des vents, il se manifeste plutôt par le mode de propagation des bourrasques ou tempêtes que par les indications combinées des girouettes.

Très-fréquemment, on pourrait presque dire d'une manière continue, il se produit dans ce grand courant atmosphérique des mouvements partiels présentant tous un caractère commun. L'air tourbillonne sur lui-même avec une rapidité varia-

ble, mais dans une direction constante, inverse du mouvement des aiguilles d'une montre.

Les tourbillons obéissent généralement aux courants dans lesquels ils se produisent; mais ils abandonnent quelquefois la branche principale pour suivre les branches dérivées; lorsqu'ils se suivent de trop près, ils réagissent l'un sur l'autre et sont brusquement déviés de leur direction naturelle.

Les vents des girouettes, les seuls qui intéressent directement les marins, sont soumis à des influences nombreuses dépendant de la position du soleil, de la direction des côtes, de la nature et des inégalités de la surface du sol. En dehors de ces influences périodiques ou toutes locales, les vents généraux ne subiraient, dans leur force et leur direction, que des changements lents et peu répétés résultant des oscillations du courant équatorial, si les tourbillons ne venaient sans cesse les modifier. C'est principalement à l'influence de ces tourbillons qu'il faut, à la surface de l'Europe, rattacher ce fait que les vents soufflent rarement des points où le baromètre est le plus haut vers les points où il est le plus bas, mais le plus souvent dans des directions presque perpendiculaires à ces lignes.

Au passage de chaque tourbillon la direction du vent, en un même lieu, tourne d'un angle plus ou moins grand. Ce phénomène a été particulièrement étudié par M. Dove qui a dénombré les rotations directes ou inverses observées annuellement en un grand nombre de lieux, sans remonter à leur véritable cause. La rotation est *inverse* ou *directe*, suivant que le centre du tourbillon passe au *Sud* ou au *Nord* du lieu considéré.

Imaginons, par exemple, qu'un tourbillon traverse l'Europe de l'Ouest à l'Est, son centre passant un peu au Nord de Paris où régnait auparavant un vent d'O. modéré, et faisons abstraction des inégalités du sol. Aux premières approches du phénomène, sous l'influence des contre-courants, les vents inclineront généralement vers le N. et le N. E. Paris entrera bientôt dans

le cercle d'action directe du mouvement. Le vent tournera plus ou moins rapidement à l'E., au S. E., au S., au S. O., en prenant graduellement une force plus grande. Il atteindra l'O. au moment où le centre du mouvement passera sur le méridien de Paris. La translation du tourbillon vers l'Est continuant, le vent ralliera le N. O., puis le N., en faiblissant : c'est la *rotation directe* de Dove.

Si le tourbillon est isolé, le vent rétrogadera peu à peu vers l'O. en restant modéré ; le baromètre qui a commencé de remonter à partir du moment où le vent soufflait d'O. et qui a passé par un maximum sur le bord occidental du mouvement tournant, comme sur son bord oriental, reviendra à sa hauteur moyenne sous l'influence du courant équatorial. Si le tourbillon au lieu de se mouvoir parallèlement à l'équateur s'incline vers le Sud en traversant l'Allemagne, puis la Méditerranée, le vent aura son maximum d'énergie au N. O., au N. et même au N. E. La direction du vent, au moment où le baromètre est à son point le plus bas, donne la direction dans laquelle se propage le tourbillon à ce moment.

Le premier tourbillon marchant à l'Est, si un second le suit en passant comme lui au Nord de Paris, une seconde rotation du vent s'effectuera, à moins que les deux phénomènes n'empiètent l'un sur l'autre, auquel cas le vent rétrograde vers le S. O. sans avoir dépassé le N. O. Une nouvelle série de mauvais temps recommence immédiatement ; quelquefois même on ne constate qu'une recrudescence, sans interruption des gros temps.

Lorsque le centre d'un tourbillon passe dans le Sud au lieu de passer dans le Nord de Paris, le vent que nous avons supposé primitivement de l'O. dans cette ville, tournera vers le S., puis l'E., le N. et même le N. O. Cette dernière rotation, comme la rétrogradation précédente constitue la *rotation inverse* de Dove.

Les rotations inverse et directe ne sont donc l'une et l'autre

que des cas particuliers d'une loi plus générale, l'invariabilité du sens de rotation des tourbillons. Les tourbillons passant plus fréquemment au Nord qu'au Sud de Paris, la rotation directe y est aussi plus fréquente que l'inverse; il en est ainsi pour une grande partie du Nord-Ouest de l'Europe : on dit que le vent y tourne dans le sens du soleil. Remarquons aussi que chaque direction du vent est la résultante du mouvement de rotation du tourbillon quand il existe, et de son mouvement de translation. Ce dernier, allant en moyenne de l'Ouest vers l'Est, les vents d'O. prédominent sur la plus grande partie du Nord-Ouest de notre continent; la rotation du vent dans le quart Nord y est souvent incomplète.

L'axe d'un tourbillon n'est presque jamais vertical. Son extrémité inférieure qui rase le sol reste en arrière de son extrémité superieure, à cause des résistances de la surface du sol au mouvement de l'air. Cet axe est donc incliné par le haut vers le Nord-Est, l'Est ou le Sud-Est, dans le sens du mouvement de translation : la rotation du vent dans les hautes régions doit devancer celle des régions inférieures. Aussi voyons-nous souvent les nuages chasser déjà de l'O. ou du N. O., lorsque les girouettes indiquent encore un vent du S. ou du S. O. Cette avance du vent des nuages est d'un grand secours pour prévoir le sens de la rotation future des vents inférieurs.

Dans quelque sens qu'elle s'effectue, la rotation du vent produite par l'action directe d'un tourbillon est d'autant plus lente et l'arc décrit d'autant plus faible que le centre du mouvement passe plus au loin. Sur le passage même du centre, on observe des calmes entremêlés de rafales avec sautes brusques du vent.

§ II. — **Force du vent.**

En l'absence des tourbillons, les vents, assez forts dans la région des nuages et sur les côtes Ouest non abritées, et modérés à la surface du sol dans l'intérieur des terres, n'éprouveraient que des variations peu considérables et surtout assez lentes dans leur vitesse comme dans leur direction. Leur maximum d'intensité coïnciderait avec la première partie de la saison froide; leur intensité minimum avec le commencement de l'été. Dans chacune de ces périodes, l'oscillation du lit du courant à la surface de l'Europe amènerait une succession graduée de jours calmes aux jours d'animation de l'atmosphère, ou inversement.

Lorsque l'hiver s'approche, l'atmosphère de l'hémisphère Boréal se refroidit et se contracte, tandis qu'un effet inverse a lieu dans l'hémisphère Austral. Une grande masse d'air se transporte donc successivement du Sud au Nord et vient donner un surcroît d'activité au courant aérien de l'Atlantique et plus d'ampleur aux tourbillons qui s'y produisent : c'est la saison des gros temps et des pluies prolongées.

Pendant l'hiver, la diminution rapide de la température à mesure qu'on s'éloigne du tropique, la chaleur élevée du Gulf-stream et l'énorme quantité de vapeurs qui s'en échappent l'hiver comme l'été, le froid excessif qui règne à peu de distance sur le Groënland, le Labrador et le Canada, les condensations brusques et considérables qui, aux moindres oscillations des courants, naissent du rapprochement de masses d'air placées dans des conditions de température si différentes, toutes ces causes maintiennent l'activité du courant équatorial, la fréquence et l'énergie des mouvements tournants dont il est parsemé.

Si les condensations s'opèrent sur la région occidentale de l'Atlantique, le vide ainsi produit attire le courant équatorial qui se trouve reporté vers le Nord-Ouest et dont la trajectoire vers l'Europe est amoindrie dans son amplitude. Le centre de l'Europe reste alors, pendant un temps plus ou moins long, avec un baromètre haut, un ciel découvert et un froid rigoureux. Si le courant suit librement son cours, sans déviation accidentelle, il s'étale sur l'Europe où la saison des pluies et des tourmentes se prolonge durant l'hiver.

A l'arrivée du printemps, l'équilibre entre les deux hémisphères est à peu près rétabli; le courant de l'Atlantique se modère, son parcours a naturellement moins d'ampleur vers l'Est; mais la débâcle des glaces et leur dérive dans les eaux du Gulf-stream sont une autre cause de trouble; les tourbillons, généralement amoindris, traversent l'Europe à la hauteur de l'Angleterre ou de la France : c'est la saison des bourrasques.

L'apaisement fait des progrès à mesure que la saison chaude est plus avancée; mais l'axe d'un tourbillon présentant à l'électricité alors confinée dans les hautes régions un écoulement facile vers le sol, les phénomènes électriques viennent quelquefois donner, en des lieux très-circonscrits, un caractère particulier de gravité aux mouvements de l'atmosphère : c'est la saison des orages.

En envisageant un tourbillon en lui-même, abstraction faite de son mouvement de translation dans l'espace, nous trouvons en dehors de son cercle d'action directe des brises de retour généralement faibles, mais pouvant prendre de la force dans de grandes vallées convenablement orientées, ou au fond de certains golfes abrités par de hautes montagnes contre l'action des vents directs. Dans le cercle d'action, les vents augmentent d'intensité de la circonférence jusque dans le voisinage du centre; au centre même règne le calme interrompu par des grains violents. Le mouvement de translation s'ajoutant au

mouvement de rotation enlève à la vitesse du vent sur l'une des moitiés du disque tournant ce qu'elle reporte sur l'autre. La direction des grands vents en Europe dépend donc de la direction que les tourbillons suivent à sa surface. Lorsqu'ils traversent cette région du Sud-Ouest au Nord-Ouest, les plus fortes brises soufflent du S. O.; lorsqu'ils se rabattent vers le Midi par la mer du Nord et l'Allemagne, ou par la France, les plus fortes brises soufflent du N. ou du N. O.; lorsqu'ils retournent vers le Sud-Ouest par l'appel des alizés ou du Sahara, les plus fortes brises viennent du N. E. Les circonstances locales, l'activité du courant général, l'intensité du mouvement tournant, la distance où l'on se trouve du centre de ce mouvement, la direction dans laquelle il se propage produisent les différences observées d'un lieu à l'autre, ou d'une tempête à la suivante : ce sont des éléments essentiels de l'établissement des probabilités du temps.

§ III. — Pression barométrique.

La hauteur du baromètre varie avec la direction du courant général qui règne au lieu où l'on observe l'instrument ; elle est moindre par les vents humides du S. O. ou de l'O. que par les vents des régions N. La différence est surtout tranchée en hiver, parce que, dans cette saison, une grande inégalité dans la température de ces deux courants vient s'ajouter à l'effet de la vapeur d'eau. La vitesse dont l'air est animé joue pareillement un rôle important dans les inégalités de la colonne mercurielle. C'est sur le bord septentrional du courant équatorial que les condensations de vapeur d'eau se font en plus grande abondance ; il en résulte une diminution dans l'élasticité de l'air et un appel du courant de ce côté ; mais sa vitesse acquise et la convergence des méridiens tendent à l'en écarter

pour le ramener vers le Sud. La baisse barométrique est donc plus fortement accusée du côté de sa rive gauche que vers sa rive droite.

L'oscillation des courants équatorial et polaire à la surface de l'Europe produit des oscillations correspondantes dans la hauteur du mercure; ces dernières, à leur tour, peuvent renseigner sur la nature des vents qui se substituent l'un à l'autre en un même lieu.

Les variations du baromètre produites par cette cause ont une marche lente et n'atteignent jamais une bien grande amplitude; les mouvements tournants ont sur elles une action beaucoup plus prononcée.

Chaque tourbillon est généralement précédé et suivi d'une hausse barométrique observée pareillement des deux côtés de sa trajectoire, particulièrement sur le côté concave. Il est constamment accompagné d'une chute du baromètre, chute qui atteint son maximum au centre même du tourbillon.

L'air pris au centre, dans une portion limitée de l'atmosphère, se trouve, par l'action de la force centrifuge, refoulé dans la région périphérique beaucoup plus étendue, et d'où il peut d'ailleurs s'écouler facilement. La baisse du baromètre au-dessous de sa hauteur moyenne est donc beaucoup plus grande au centre que la hausse sur le pourtour du tourbillon. Aussi, tandis que le baromètre n'atteint que très-rarement 780 millimètres, on le voit descendre à 730 et même 720 sur l'Europe occidentale, et à 712 sur le Nord de la Russie[1].

Quelquefois, surtout dans la mauvaise saison, les tourbillons se suivent d'assez près pour qu'ils empiètent les uns sur les autres. La pression reste alors faible en chacun des points de leur ligne de parcours; elle n'est relevée que dans la région méridionale comprise dans la concavité de cette ligne.

[1] Ces nombres sont supposés pris au niveau de la mer. A mesure qu'on monte, le baromètre baisse de 1 millimètre par 10 ou 12 mètres d'élévation.

La baisse barométrique est d'autant plus grande au centre d'un tourbillon que le mouvement de rotation est plus actif et plus étendu. En un lieu donné, cette baisse est d'autant plus forte qu'on est plus près du centre du mouvement. En suivant la marche du baromètre, on reconnaîtra, par un retour à la hausse, que le centre du tourbillon s'est approché au plus près et qu'il commence à s'éloigner.

Un baromètre haut, au-dessus de 766 millimètres, et un baromètre bas, au-dessous de 755 millimètres, sont, l'un et l'autre, l'indice d'une perturbation atmosphérique. Dans le premier cas, on est en dehors du cercle d'action directe des mauvais temps, mais on peut en être très-près. Dans le second, on a pénétré dans leur cercle d'action, mais on peut se trouver assez loin du centre pour que les effets ressentis ne soient pas très-marqués. A une certaine distance du maximum ou du minimum on juge mal du degré de gravité de la perturbation; il est nécessaire de l'embrasser dans son ensemble au moyen des cartes synoptiques.

Un baromètre haut est rarement accompagné par la pluie; mais il n'exclut pas les fortes brises, surtout sur les bords de la région à forte pression et dans le voisinage d'une région à pression faible. Un baromètre bas peut coexister avec un temps calme et beau, mais d'une manière passagère.

Les fortes pressions barométriques développées sur le Nord-Ouest de l'Europe, sur la ligne de parcours la plus ordinaire des tourbillons, sont généralement peu durables; elles se transportent habituellement vers l'Est et les mauvais temps les remplacent.

Les fortes pressions qui se développent au Nord-Est de la Russie et surtout sur le centre de l'Europe sont ordinairement plus prolongées; elles y produisent des périodes de beaux jours très-froids en hiver, très-chauds en été, et des temps généralement assez calmes.

La région occupée par un baromètre haut n'est jamais immobile. Elle est chaque jour entamée par la baisse tantôt d'un côté tantôt d'un autre, sous l'influence des tourbillons qui la côtoient. Ces échancrures sont quelquefois pour nous le seul indice du passage des mouvements tournants lorsqu'ils atteignent à de très-hautes latitudes ou qu'ils parcourent l'Atlantique. Le météorologiste doit les surveiller avec la plus grande attention. Le mauvais temps nous est ramené par le déplacement graduel du lit du courant équatorial vers le Sud, ou par son extension à la surface de l'Europe. Dans l'un et l'autre cas, le mouvement commence par les hautes régions et s'annonce par l'apparition des cirrus, petits nuages très-légers et très-élevés marchant lentement du S. O. Cependant, un tourbillon dévié de sa direction primitive par les Alpes scandinaves peut se jeter à travers l'Europe centrale et y amener brusquement une tempête du N.; d'un autre côté, l'arrivée du courant aérien de l'Atlantique nous donne seulement un air plus humide, un ciel plus nuageux, jusqu'au moment où un tourbillon s'y rencontre.

Chaque fois qu'un tourbillon est signalé par l'Observatoire sous les noms de tourmente, tempête tournante, bourrasque, bourrasque orageuse, suivant l'intensité du mouvement et suivant la saison, il convient d'observer avec soin la marche du baromètre pour suivre les progrès du phénomène, particulièrement dans les localités qui paraissent les plus menacées. La direction et la force du vent, comparées à la hauteur de la colonne mercurielle, peuvent permettre de juger approximativement dans quelle direction se trouve le centre du tourbillon et dans quel sens il se propage. A cet égard, la vitesse et la direction des nuages sont encore plus importants à noter que celles des vents accusés par les girouettes. La baisse est d'autant plus rapide et le vent tourne d'autant plus vite que le centre du mouvement passe plus près de nous.

§ IV. — État du ciel.

L'état du ciel, malgré son extrême variabilité, est sous la dépendance de causes générales dont on peut suivre les développements successifs alors même qu'ils sont le plus rapides.

Le ciel est toujours nuageux ou couvert sur le trajet du courant équatorial, particulièrement sur son bord septentrional où les pluies sont fréquentes. Il se découvre peu à peu à mesure qu'on pénètre plus avant sur le continent. Il est pur dans les régions où sont établis les courants de retour ou courants polaires. Il est généralement beau, mais d'une manière moins constante, dans la région comprise entre le courant équatorial et le courant polaire de retour; là, quand le ciel est sans nuages, l'air est encore vaporeux en été, brumeux en hiver.

Ces divers états du ciel se déplacent et se succèdent à la surface de l'Europe comme les courants auxquels ils correspondent. Le passage de l'un à l'autre est souvent marqué par des phénomènes complexes; des circonstances locales changent également la direction des vents pluvieux. Les vents qui ont traversé des mers un peu étendues sont toujours humides; ils sont, au contraire, plus ou moins secs lorsqu'ils ont parcouru de grands continents. Pour le Nord-Ouest de la France, jusqu'au plateau central et jusqu'aux Cévennes, les vents humides sont compris entre le S. et l'O. ou N. O.; sur les côtes de Provence, ils soufflent d'entre l'E. et le S. ou S. O.

Un vent chargé de vapeur donnera lieu à des probabilités de pluie d'autant plus grandes qu'il marchera de régions plus chaudes vers des régions plus froides, soit en remontant vers le Nord, soit en s'élevant vers les hautes régions de l'atmosphère le long des rampes des chaînes de montagnes.

Un vent humide n'est pas immédiatement pluvieux si, dans la région où il pénètre, l'atmosphère était chaude et sèche. Il le deviendra, s'il persiste.

Un vent sec en lui-même peut être une cause de pluie dans la région qu'il envahit, si cette région était chaude et saturée d'humidité, et si en même temps le vent est froid. S'il persiste, la pluie cesse.

L'air, en parcourant la surface des mers, peut tout au plus se saturer de vapeur; il n'en reçoit une surcharge que dans des conditions exceptionnelles, comme celles qui se présentent l'hiver à la surface des eaux du Gulf-stream, dans les parages de Terre-Neuve. Il lui faut donc éprouver un refroidissement pour qu'il abandonne une partie de sa vapeur sous forme d'eau ou de neige. Le seul fait de sa progression vers le Nord peut amener ce résultat, mais d'une manière lente; les pluies sont alors peu abondantes. Le passage de l'air par-dessus de hauts plateaux produit un refroidissement plus rapide, une condensation plus active, et des pluies plus abondantes : c'est pour cette raison que les vents qui soufflent d'entre O. et N. sur les côtes françaises de la Méditerranée y sont généralement secs; ils se sont asséchés sur les Cévennes. Les variations quotidiennes de la température de l'air et les mouvements verticaux qui en résultent sont encore une cause de condensation de la vapeur d'eau; mais la cause la plus active réside incontestablement dans les mouvements tournants de l'atmosphère.

Il est presque sans exemple qu'un tourbillon ait abordé l'Europe sans y produire de la pluie, et qu'une pluie survienne sans s'y rattacher à l'existence d'un mouvement tournant. Par sa nature même il concentre vers son axe l'air froid des régions élevées ou moyennes de l'atmosphère, l'air pris au Nord et au Midi; il attire toutes ces masses vers la surface du sol et les mélange à l'air des couches inférieures. C'est dans le courant équatorial chargé de vapeur qu'il se produit et se propage, et,

si la formation des pluies (ou neiges) est pour lui une cause de conservation, par contre il favorise la continuité de cette cause.

Si la même masse d'air circulait toujours dans un même tourbillon, elle finirait bientôt par se dessécher assez pour ne plus donner d'eau; mais les couches supérieures de l'atmosphère se meuvent librement, tandis qu'une fois parvenues à la surface du sol elles y rencontrent des résistances qui ralentissent leur mouvement de translation : elles restent en arrière, et le tourbillon s'alimente sans cesse d'air nouveau.

Le passage d'un tourbillon dans un lieu donné ne dure généralement qu'un petit nombre de jours; les pluies qu'il amène sont encore moins prolongées, surtout dans la saison d'été; mais ces phénomènes se succèdent à des intervalles souvent très-rapprochés, et leur ensemble peut constituer toute une saison pluvieuse.

En été, les tourbillons n'ont d'ordinaire qu'un champ d'action très-restreint. La terre est plus chaude que la mer; les vents, chargés de vapeur sur l'Océan, tendent à s'éloigner de leur point de saturation en pénétrant sur le continent, à cause de la température plus élevée qu'ils y prennent; mais la décroissance de la chaleur dans le sens vertical est plus rapide que dans toute autre saison, et, comme la quantité de vapeur contenue dans l'air est en réalité considérable, le refroidissement résultant du passage d'un tourbillon produit des pluies abondantes, mais généralement peu prolongées.

Dans l'hiver, la terre est, au contraire, plus froide que la mer; le courant équatorial, en pénétrant sur le continent, s'y refroidit graduellement; il est donc toujours surchargé de vapeur, bien qu'il en contienne en réalité moins que dans l'été; le plus faible abaissement accidentel de température y produit des pluies moins abondantes en chaque lieu, mais embrassant de plus larges surfaces.

Les pluies ne sont pas également distribuées sur tout le

ırtour d'un tourbillon, du moins à partir d'une certaine tance du centre, lorsque son rayon est un peu étendu. Pour Nord et l'Ouest de la France et même de l'Europe, c'est le ·d méridional qui fournit le plus d'eau; là, les vents souf- nt d'entre S. et O. viennent de la mer, ils montent vers le rd, ou du moins ne s'en éloignent pas. Les vents du N. O. us arrivent également de la mer, mais d'une manière moins ecte; ils se rapprochent du midi et de régions de plus en ıs chaudes, ce qui les rend plus aptes à garder leur vapeur. ɔendant, lorsque ces derniers font irruption dans un air ıud et humide, ainsi qu'il arrive quand un tourbillon est ›attu des régions Nord sur le centre de l'Europe, ils amè- nt, au début, des pluies qui sont peu durables; ils n'en ırnissent presque jamais sur les côtes de la Provence et du nguedoc.

Les orages suivent la marche des pluies. Il ne s'en forme nais dans la région occupée par les fortes pressions ba- nétriques, mais seulement sur le trajet du courant équa- ial.

Ce courant, très-actif pendant la saison froide, nous apporte grandes quantités d'électricité; mais comme l'air est très- ès de son point de saturation, quand il ne l'a pas dépassé, il sse au fluide un écoulement facile et continu. Les particules glace qui remplissent l'air des régions circumpolaires, sur- ıt dans les points où aborde le courant équatorial, favorisent coulement en le rendant visible; elles produisent les splen- les effets des aurores boréales. Les véritables orages sont nc rares dans cette saison. Quoique plus abondante, l'électri- é n'y peut acquérir le degré de tension nécessaire à l'appa- ion des grandes décharges instantanées, sinon dans des cir- nstances exceptionnelles. Cependant, lorsqu'un mouvement ırnant suffisamment intense aborde la France, même au mois janvier, les phénomènes électriques peuvent se manifester

comme dans la saison chaude, ainsi que le 9 janvier 1866 nous en fournit un exemple.

§ V. — Température.

La température est influencée très-diversement par les vents, suivant les saisons.

Dans la période de calme et de pression barométrique élevée qui précède généralement l'arrivée d'un tourbillon, et qui, plus fréquemment encore, se rencontre dans les régions situées à l'intérieur de la courbe parcourue par ces phénomènes, la chaleur est souvent accablante pendant l'été, tandis qu'en hiver le froid y est rigoureux.

Le ciel est pur d'ordinaire dans ces régions. Pendant l'hiver la déperdition de chaleur par voie de rayonnement y devient très-active; la courte durée des jours et l'obliquité des rayons solaires ne permettent pas au gain de compenser les pertes. Lorsque les vents équatoriaux sont peu éloignés, la vapeur qu'ils apportent et qui se déverse lentement dans cette région froide, s'y condense en épais brouillard dont l'influence rend le froid plus désagréable tout en relevant le thermomètre. Pendant l'été, au contraire, la longueur des jours et la hauteur à laquelle atteint le soleil rendent le gain supérieur à la perte nocturne ; le calme de l'atmosphère s'oppose au rapide mélange des couches d'air froid des régions supérieures avec l'air chaud de la surface du sol ; la température monte très-haut et devient d'autant plus pénible que l'air se renouvelant avec lenteur autour de nous, l'évaporation est moins active à la surface de notre corps. Si les courants équatoriaux sont établis à peu de distance, la vapeur qui nous en arrive augmente le malaise en ralentissant encore l'évaporation, bien que le degré thermométrique ait pu baisser.

Un effet inverse est produit sur le trajet des courants équatoriaux. Ces vents participent de la température des mers qu'ils ont parcourues : ils sont tièdes en hiver, frais en été. La couche de nuages qu'ils charrient abrite le sol contre le refroidissement nocturne en hiver et contre les ardeurs du soleil en été ; dans cette dernière saison, l'évaporation de l'eau des pluies est une nouvelle cause d'abaissement de la température.

En dehors de ces faits généraux, les tourbillons viennent exercer leur action spéciale. Le premier résultat de leur approche est d'accroître l'humidité de l'air ; la température s'adoucit pendant la saison froide ; elle devient plus fatigante pendant les mois chauds. Mais à mesure que la distance de leur centre diminue, le mélange des couches d'air se fait sentir sur le thermomètre ; le refroidissement s'accentue davantage encore après le passage centre. Sur le bord antérieur du tourbillon l'air vient, en effet, du Midi, tandis que sur le bord postérieur il vient du Nord. Chaque mouvement tournant est donc suivi d'un abaissement dans la température d'autant plus sensible que ce mouvement est plus isolé. Les gelées printannières les plus redoutables sont dues à des circonstances de cette nature. Dans une région occupée depuis quelque temps par les hautes pressions barométriques, les gelées blanches sont peu à craindre au printemps, non que le froid n'y puisse être vif, mais parce que la pousse des plantes est ralentie par la sécheresse et la continuité du froid. Lorsque les vents du S. O. ont régné pendant quelque temps, la végétation a pris son essor, les jeunes pousses garnies de sucs sont devenues très-impressionnables au froid. Que survienne une bourrasque un peu forte au travers de la France, les vents tourneront au N. sur son bord postérieur, le ciel se découvrira, et les dernières heures d'une seule nuit suffiront à causer de grands dégâts.

Le froid qui succède au passage d'une bourrasque est géné-

ralement peu durable, si le trajet du courant équatorial n'est pas déplacé. Les froids prolongés débutent d'ordinaire par le Nord ou le Nord-Est de l'Europe ; ils apparaissent sur la Russie une huitaine de jours avant d'arriver jusqu'à nous. Ils s'annoncent par de fortes pressions barométriques et un recul progressif du lit du courant équatorial vers le Sud-Ouest. Les bourrasques traversent l'Allemagne, puis la France, puis n'atteignent plus l'Europe que par les côtes d'Espagne, ou cessent même d'arriver jusqu'à elles. La région des fortes pressions suit une marche pareille; elle s'étend progressivement à l'Allemagne et à la France. Bientôt les bourrasques reparaissent dans les hautes latitudes ; elles contournent la région centrale à baromètre haut, et se développent sur la Russie où le froid s'adoucit plusieurs jours avant qu'on ressente un pareil effet sur l'Europe centrale. Peu à peu le courant équatorial quitte les hautes latitudes pour se rapprocher de nous ; des nuages élevés se montrent d'abord, le baromètre baisse graduellement, la température s'adoucit et les bourrasques reparaissent sur nos côtes. Quand la première situation domine pendant l'hiver, la saison est rigoureuse ; quand, au contraire, c'est la seconde, la saison est douce et pluvieuse.

APPLICATIONS

Les conséquences de tout ce qui précède sont : que les changements dans l'état de l'atmosphère en une région déterminée de l'Europe sont le résultat direct des déplacements du lit du grand courant aérien venu de l'Atlantique et du passage des mouvements tournants qui s'y produisent ; que le problème de la prévision du temps consiste dès lors à épier ces déplacements, à saisir les premiers signes de l'arrivée de chaque mouvement tournant, à déterminer l'étendue et l'intensité du météore, la distance à laquelle il doit passer de la région con-

sidérée, la direction qu'il doit suivre, la vitesse avec laquelle il se transporte. Là s'arrête, pour le moment, le pouvoir de la science du temps. Une certaine périodicité dans l'ampleur du courant équatorial nous paraît incontestable tant qu'on reste dans les généralités. Dès qu'on veut préciser un peu à l'avance le retour de chaque période, les bases de l'appréciation font défaut et les fréquentes erreurs auxquelles on est exposé montrent l'impuissance des statistiques fondées sur des recueils de faits observés loin des causes premières auxquelles ils se rattachent. Nous n'entendons nullement par là préjuger de l'avenir de la science; nous constatons son état présent, mais nous avons une foi entière en ses progrès. Les études statistiques ont un très-grand intérêt; il importe d'utiliser tout ce que la science possède en faits bien constatés; la comparaison intelligente de ces faits doit conduire à des résultats très-précieux, surtout si on l'étend à toute la surface du globe[1]. En dehors de la constatation des faits et de leurs rapprochements, le but capital que l'on ne doit jamais perdre de vue, c'est la recherche de leurs causes. Les cartes synoptiques étendues d'abord à la surface de l'Europe, puis sur l'Atlantique sont un grand pas fait dans cette voie : elles ne suffisent déjà plus. Il est indispensable qu'elles embrassent dans l'avenir l'Amérique, puis l'Océan Pacifique et enfin l'Asie pour l'hémisphère Nord : un jour elles comprendront les deux hémisphères. Dans l'état actuel de la science, nous avons la conviction que des dépêches télégraphiques, venues d'Amérique ou de Sibérie, nous permettraient de prévoir huit ou dix jours à l'avance les grands changements du temps : la prévision des détails sera nécessairement toujours plus limitée.

Le météorologiste qui veut prévoir le temps doit suivre avec

[1] Nous faisons ici particulièrement allusion à un travail de ce genre entrepris par M. Charles Sainte-Claire-Deville, et dont les résultats très-remarquables n'ont pas encore été publiés.

soin la marche de tous ses instruments et rester attentif aux moindres signes présentés par l'aspect du ciel.

Les renseignements expédiés par télégraphe aux stations en correspondance avec l'Observatoire sont reproduites intégralement par le *Bulletin international*, et, dans leur partie concernant la France, par les journaux. L'Observatoire peut fournir chaque jour des renseignements sur l'état général de l'atmosphère, sur la situation et l'intensité du courant équatorial, sur le sens dans lequel ce courant tend à se déplacer, sur les mouvements tournants dont il est parsemé, sur les points menacés par chaque tourbillon, sur les variations accidentelles que le météore doit amener dans l'état du ciel et des vents. Ces renseignements deviendront sans doute plus précis et embrasseront une plus longue période à mesure que la science du temps sera plus avancée. Dès aujourd'hui, ils pourraient, pour chaque lieu, servir de base à l'interprétation des indications fournies par les instruments météorologiques et par les *signes du temps;* mais, en aucun cas, ils ne doivent dispenser de l'observation directe ou locale.

La nature des indications devant différer, suivant qu'elles s'adressent aux marins ou aux cultivateurs, nous examinerons séparément ces deux points.

§ VI. — Service des ports.

Le service des avertissements aux ports était à peine organisé, lorsqu'un violent ouragan vint en démontrer l'efficacité.

Le 28 novembre 1863 nous annonçions déjà la situation atmosphérique comme très-douteuse; le 1er décembre nous signalions l'arrivée d'un tourbillon sur le Nord-Ouest de l'An-

gleterre. « La baisse rapide que l'on constate ce matin sur l'Irlande, disions-nous dans le *Bulletin* du 1er, la position des courbes d'égale pression barométrique et l'orientation des vents qui ont pris de la force du S. ou S. O. montrent que le phénomène s'incline vers l'Est pour aborder les côtes d'Europe par le Nord de l'Angleterre. La tempête qui s'étendra probablement à toute la France, paraît devoir être assez forte. » Le 1er, à midi, tous les ports de l'Océan furent avertis qu'une tempête fondait sur l'Angleterre et la France. Le 2, à 11 heures et demie, nos ports de la Méditerranée, déjà prévenus la veille, sont informés qu'ils sont fortement menacés ; Madrid et Turin reçoivent des avertissements analogues concernant les côtes Catalanes et celles du golfe de Gênes. Ces avis sont renouvelés à une heure cinquante minutes pour les côtes de Cività-Vecchia à Palerme.

« J'ai reçu dans la journée du 2, écrivait à M. Le Verrier le président de la Chambre de commerce de Toulon, les deux dépêches annonçant qu'une tempête allait envahir la France. Elles ont été publiées et affichées sur l'heure, et les navires de commerce présents sur la rade ont pu prendre et ont pris immédiatement les mesures nécessaires pour parer à toute éventualité. La préfecture maritime, de son côté, ordonnait à tous les officiers à terre de regagner leur bord. La tempête s'est déchaînée vers trois heures et demie de l'après-midi. Le télégramme du 2 confirmant celui de la veille, avait donc gagné quatre heures d'avance sur la tempête, et tout était prêt pour y faire face. Il n'y a eu, grâce aux précautions prises, aucune avarie, aucun sinistre à déplorer. »

« Hier, 3 décembre, le jour s'est levé dans une atmosphère chaude et calme. Les probabilités indiquées pour le temps du 3, par la dépêche du 2, indiquaient des rafales de S. O. ou de N. O. C'était un démenti apparent donné par le temps à vos prévisions ; mais avant quatre heures du soir les rafales du N. O.

se sont déchaînées ; elles ont soufflé toute la nuit du 3 au 4 : elles durent encore. »

La note suivante était publiée le 3 dans le journal de Gênes : « Le présage de l'observatoire de Paris s'est complétement réalisé. Les premiers signes de l'ouragan se sont fait sentir hier vers sept heures et demie du soir ; dans la nuit, il s'est déchaîné furieux ; il ne paraît pas toutefois que des sinistres aient eu lieu dans nos parages. Le commandant du port s'était hâté de prendre les mesures opportunes, et nous n'avons eu qu'à nous en louer. »

Le nombre des sinistres fut considérable dans la Manche et sur les côtes de Bretagne. Dans la nuit du 1er au 2, dans le port de Camaret, situé dans le goulet de Brest, 13 navires ont été jetés à la côte, plusieurs autres ont résisté sur leurs ancres en sacrifiant leur mâture. A cette époque, le port de Camaret ne recevait pas encore les avertissements émanés de l'Observatoire. Relativement à la direction du vent qui battait généralement en côte, les précautions étaient plus difficiles à prendre. En dehors de Camaret et de plusieurs petits ports non prévenus, les sinistres ont particulièrement porté sur les navires venus de la haute mer. D'après une lettre de M. le président de la Chambre de commerce de Brest, « le 30 novembre les marins se sont bien gardés de quitter le port, malgré la belle apparence du temps. »

La tempête éclata sur nos côtes Nord avec une soudaineté et une violence extrêmes. A Cherbourg, par exemple, il y avait très-peu de vent et de mer le matin ; des embarcations légères pouvaient circuler dans la rade. Le baromètre, cependant, était d'accord avec les prévisions pour annoncer le mauvais temps. A huit heures, il était descendu à 737 millimètres. A dix heures, l'ouragan arriva comme un coup de foudre. Des parties d'édifices furent renversées, des toitures enlevées. Sur la rade, la mer était soulevée en poussière et formait comme un épais

rideau de brume. D'énormes vagues passaient par-dessus la digue.

Une chaloupe de la frégate cuirassée *la Couronne* était partie pour secourir un bâtiment de commerce près de sombrer. Après y être parvenue, elle le remorquait vers le mouillage, quand la tempête se déchaîna. Un petit bateau à vapeur du port lui vint en aide pendant quelque temps, mais il fut obligé de quitter la remorque pour ne pas sombrer lui-même. La marée descendait, et tandis que le navire allait s'échouer sur une plage moins dangereuse, la chaloupe était entraînée au large. On la perdit de vue, et le soir on recueillit, près du cap Levi, deux matelots couverts de blessures, évanouis et n'ayant gardé qu'un souvenir confus de la catastrophe. Ils étaient les seuls survivants de l'armement de cette embarcation commandée par un vaillant officier, M. de Besplas, et montée par des hommes intrépides qui, conduits par un digne chef, n'avaient pas hésité à faire le sacrifice de leur vie pour accomplir un acte de dévouement et d'humanité[1].

Depuis cette époque, la tempête du 11 janvier 1866 peut seule être comparée à la tempête de décembre 1865. Les détails suivants sont extraits d'une note de M. le vice-amiral de la Roncière-le-Nourry, commandant *le Magenta*[2] :

Les journées qui ont précédé le 11 janvier n'avaient rien présenté d'insolite sur la rade de Cherbourg. Le 9, il ventait grand frais (très-fort) d'O.N.O. avec des grains de pluie ou de grêle ; le baromètre était en moyenne à 741 millimètres. Dans la nuit du 9 au 10, le vent mollissait et le temps s'éclaircissait. Le 10 au matin, le vent, assez faible, tournait au S. O., au S. et au S. E. *Cela indiquait que le mauvais temps n'était pas fini; s'il eût dû finir, les vents d'O.N.O. du 9 auraient remonté au*

[1] *Les Météores*, par MM. Margollé et Zurcher, p. 205.

[2] *Bulletin international* du samedi, 20 janvier 1866.

N. O. et au N. N. O., où ils auraient cessé, et il aurait fait calme.

Toute la journée du 10, les vents sont restés au S. et au S. E. forte brise, le baromètre baissant lentement d'abord, puis ensuite avec une extrême rapidité. A minuit, il était à 727. Il baissa alors de plus en plus rapidement jusqu'à huit heures et demie du matin, où il s'arrêta à 721 millimètres et commença de monter. Les vents étaient toujours au S. E. tournant à l'E. S. E.; le temps était couvert et pluvieux. Sauf la situation si exceptionnelle du baromètre, rien n'annonçait une tempête prochaine. Quelques pilotes rentraient, et les nombreux bâtiments de commerce en relâche sur la rade n'appareillaient pas, le signal du mauvais temps ayant été hissé et le retour du vent de l'O. N. O. au S. E. par le S. annonçant, comme il a été dit plus haut, que l'état du temps en mer n'était pas satisfaisant. A dix heures du matin, le vent tourna assez rapidement à l'E., au N. E. et au N., où il se fixa et fraîchit rapidement. Les coups de vent de cette partie sont excessivement rares à Cherbourg, et le vent ne souffle violemment de cette direction que dans un grain de courte durée. A dix heures et demie, il ventait grand frais. A onze heures et demie, le vent avait pris toute sa force. La surface des lames était pour ainsi dire enlevée et un nuage de poussière d'eau, s'élevant à une certaine hauteur, empêchait de voir l'état du ciel. Le temps était certainement très-couvert et il devait pleuvoir un peu, mais la pluie se confondait avec l'eau de mer.

De onze heures et demie à trois heures et demie, le baromètre monta de 9 millimètres; le vent souffla avec la même violence, au point qu'à bord il était impossible de s'y exposer sans se tenir solidement à un point fixe. A trois heures et demie, le vent mollissait un peu par moments; à cinq heures, ce n'était plus qu'un grand coup de vent; puis il diminua successivement jusqu'à minuit où il devint très-maniable. En mol-

lissant, le vent avait passé du N. N. O. au N. O.. A minuit, le baromètre marquait 751 millimètres.

Le temps s'est ensuite tout à fait remis. Le 12 au matin, il faisait très-beau avec une jolie brise du N. O. qui a duré toute la journée.

Sur trente-deux bâtiments de commerce qui étaient en petite rade le 12, neuf seulement ont pu entrer dans le port de commerce au commencement du coup de vent, en faisant quelques avaries ; vingt-deux ont été s'échouer sur le côté devant la ville, les uns à droite, les autres à gauche du port ; un seul a pu tenir.

Les bâtiments de guerre avaient pris de bonne heure les précautions nécessaires. Ils avaient calé leur mâture, allumé leurs feux et mouillé des ancres, bien que tenus par des chaînes de corps-morts d'une grande puissance. Néanmoins, une des chaînes qui retenait *le Magenta* a cassé à une heure et demie ; le vaisseau a abattu rapidement ; il a incliné considérablement sous la puissance de la brise ; mais bientôt il a senti l'effet des autres ancres qui avaient été mouillées, et l'immense masse revenait debout au vent en se redressant. A trois heures, la même avarie arrivait à la frégate *la Forte*, qui heureusement aussi put tenir sur d'autres ancres.

La digue, qui depuis qu'elle est achevée n'avait pas encore passé par une telle épreuve, n'a subi aucune avarie sensible. L'œuvre de M. Rebell est définitivement jugée et constitue un des plus beaux et des plus solides travaux des temps modernes. Des pierres de deux à trois mille kilogrammes, formant l'extérieur de l'enrochement sur lequel elle repose, ont été lancées par les lames par-dessus le parapet ; quelques-unes sont restées sur le parapet même ; elles ont par conséquent été soulevées à une hauteur verticale de 8 mètres environ. En frappant la digue, les vagues s'élevaient à une hauteur égale à trois fois la hauteur du fort central qui a 20 mètres de haut ; puis, entraî-

nées presque horizontalement par le vent, elles venaient tomber en poussière à une grande distance et couvraient les bâtiments placés à l'abri sous la digue.

Plusieurs officiers, qui étaient également en rade lors du coup de vent du 2 décembre 1863, s'accordent à dire que le vent et l'ensemble du temps étaient alors bien moins mauvais que le 11 janvier ; la tempête de décembre a été d'une plus courte durée, le vent avait soufflé du N. O. et non d'une région insolite, comme dans ce dernier ouragan.

La tempête du 11 janvier est en effet très-remarquable par ses allures, bien que dans son ensemble elle n'ait pas eu le degré de gravité présenté par la tempête de décembre. Cette dernière nous arrivait du Nord-Ouest. Son centre avait traversé l'Angleterre, avait poussé une pointe sur la France, dans l'Est de Cherbourg, puis avait rapidement rebroussé chemin sur l'Angleterre. Cherbourg était donc resté dans son demi-cercle méridional avec des vents du quart O. N. O. La tempête du 11 avril est au contraire venue du Sud-Est par l'Ouest de la France ; en marchant vers le Nord-Est, son centre a passé dans le Sud-Est de Cherbourg à une petite distance de ce port ; aussi les vents y ont-ils subi une rotation complète et *inverse*. C'est un cas excessivement rare. Le plus grand rapprochement du centre a eu lieu à huit heures et demie, heure du minimum barométrique. Le port se trouvait alors dans l'accalmie centrale ; ultérieurement, il se trouva dans le bord occidental du tourbillon, où le vent, soufflant du N., était dans les conditions les plus défavorables pour la rade ouverte dans cette direction.

En dehors de la route insolite suivie par la tourmente de janvier, nous avons tenu à reproduire ici l'opinion d'un marin aussi exercé que le vice-amiral de la Roncière-le-Nourry, sur les pronostics tirés du sens de la rotation des vents et des indications du baromètre. L'aspect général du ciel fournit incon-

testablement des indications d'une grande valeur qu'il ne faut jamais négliger; mais le baromètre est l'instrument météorologique par excellence du marin qui doit le consulter sans cesse, comme il doit consulter les allures du vent soit à la surface du sol ou de la mer, soit dans la région des nuages.

La tempête de décembre 1863 eut une grande influence sur l'organisation des communications rapides entre l'Observatoire et les divers ports du littoral français, à une époque où les électro-sémaphores n'étaient pas encore établis comme ils le sont actuellement. Aujourd'hui, que l'annonce d'une tempête soit expédiée sur une région quelconque du Nord, de l'Ouest ou du Midi de la France, des signaux d'alarme sont immédiatement hissés sur des mâts installés d'avance, de manière à mettre sur leurs gardes les marins au port. Les électro-sémaphores, distribués comme des sentinelles sur tous les points avancés de nos côtes, peuvent, de leur côté, se mettre en correspondance avec les bâtiments passant en vue, les prévenir du gros temps qui s'avance et les mettre en mesure de chercher à temps un port de refuge, ou de s'éloigner d'une côte dont la proximité peut devenir pour eux une source de dangers. La partie matérielle du service des avertissements aux ports est à très-peu près au complet.

Les avis transmis aux marins ne doivent pas être reçus par eux comme des oracles; ils doivent être soumis au contrôle d'une expérience acquise dans chaque lieu et soutenue par l'observation attentive des instruments et des signes du temps.

Nous réunissons dans le paragraphe suivant quelques préceptes généraux basés sur l'étude suivie des cartes synoptiques. Pour donner au langage plus de précision, nous laissons de côté la forme dubitative, tout en rappelant qu'il s'agit de simples probabilités.

§ VII. — Usage du baromètre pour la prévision du temps.

La marche simultanée du baromètre et des vents change un peu suivant les régions. Nous diviserons donc les instructions sommaires qui vont suivre en quatre parties distinctes, se rattachant aux quatre divisions du littoral français adoptées par l'Observatoire dans ses avis aux ports. Nous serons ainsi nécessairement conduit à des répétitions, parce que les conditions climatologiques de ces quatre régions présentent des différences et non pas des oppositions tranchées; mais nous espérons y gagner en netteté, point essentiel dans un sujet où la précision et la netteté sont difficiles à garder.

CÔTES DE LA MANCHE — DE DUNKERQUE A CHERBOURG

La Manche est une des mers les plus tourmentées du globe. Sa position, par rapport à la ligne moyenne du parcours des mouvements tournants sur l'Europe, fait qu'elle n'échappe à l'action de presque aucun de ces mouvements; d'un autre côté, sa direction de l'Ouest à l'Est, son resserrement entre les côtes un peu élevées d'Angleterre et de France, tendent à orienter dans le même sens de l'O. ou de l'E. les vents qui soufflent à sa surface et à leur donner plus d'énergie.

Le baromètre étant haut sur la France, si la pression commence à faiblir, que le vent fraîchisse de l'E. ou S. E. tendant vers le S., que le ciel se charge de vapeurs ou de nuages et que le vent des nuages précède les vents inférieurs dans leur rotation vers l'O., — le baromètre continuera de descendre et les vents de fraîchir en tournant au S., au S. O. et à l'O. — C'est

une série de mauvais temps qui arrivent, plus ou moins graves suivant la saison et le degré de baisse du baromètre, et qui abordent l'Europe par les côtes d'Angleterre.

Si le vent, arrivé à l'O., conserve sa force, si le vent des nuages continue à précéder le vent des girouettes vers le N. O. et si, en même temps, le baromètre commence à monter d'une manière à peu près uniforme de Cherbourg à Dunkerque, plus vite et plus rapidement toutefois à Cherbourg qu'à Dunkerque, — le vent continuera sa rotation vers le N. O. et le N. en faiblissant graduellement. — Le tourbillon s'éloigne vers la Baltique : c'est le retour vers le beau temps.

Un mouvement tournant marche rarement seul, surtout dans la mauvaise saison, et on doit s'attendre à en voir d'autres suivre le premier.

Si après avoir franchi la direction O. vers le N., la marche des nuages rétrograde vers le S. malgré le mouvement du baromètre vers la hausse, si sur l'Ouest de la Manche, le baromètre tend à fléchir de nouveau, — on doit s'attendre à une recrudescence ou à un retour très-prochain des gros temps du quart O.

Si le baromètre monte rapidement après le passage du minimum et pendant que les vents rallient le N. O. ou le N., — il est très-probable qu'un second tourbillon suit le premier à deux ou trois jours d'intervalle.

Si, lorsque le baromètre monte rapidement de Brest à Cherbourg et lentement vers Dunkerque ; surtout si au moment où le vent rallie le N. O. une baisse barométrique a lieu à Dunkerque, on doit redouter sur la Manche les fortes brises ou les coups de vent du quart N. et même du quart N. E. après le retour de la hausse. — Le tourbillon est rabattu sur la mer du Nord et tend à traverser l'Allemagne pour se rendre sur la Méditerranée. — Dans ce cas, généralement, le vent des nuages continue à précéder le vent des girouettes et les vents forts

d'entre N. et E. persistent même après que le baromètre est redevenu haut.

La baisse du baromètre peut continuer à faire des progrès rapides, même après que les vents ont atteint l'O. — Le centre de la tourmente descend du Nord sur la France. Le vent, dans ce cas, peut se calmer; mais les rafales et les sautes de vent sont d'autant plus à craindre que le baromètre est plus bas.

Si après une saute au N. fort le baromètre remonte, les fortes brises du quart N. E. persisteront généralement, même après le retour des hautes pressions. — La tourmente est descendue sur le Midi de la France. Si pendant la hausse du baromètre le vent rallie l'O., la tourmente rebrousse chemin vers le Nord de l'Europe. — Le vent mollira à mesure que la colonne mercurielle montera.

Lorsque le baromètre étant haut ou moyen, la pression commence à faiblir, si les vents arrivés vers le S. rétrogradent vers l'E. en fraîchissant, et qu'en même temps le ciel se couvre ou devienne pluvieux, la pression pourra continuer à décroître sans que les vents quittent leur direction E. ou N. — C'est un tourbillon qui aborde la France par les côtes Ouest. Il peut arriver, cependant, que les vents reviennent peu à peu au S., puis au S. O. et à l'O. — Le tourbillon, au lieu de traverser la France, remonte vers le Nord en longeant les côtes.

Pendant une tempête, le centre de la tourmente est toujours sur la gauche du vent et sur une ligne perpendiculaire à sa direction, quand cette direction n'est pas déviée par les saillies du sol. Le centre passe donc à droite ou à gauche du lieu où l'on est, suivant que la rotation du vent y est inverse ou directe; il passe à une distance d'autant moindre que la chute du baromètre est plus rapide. Au centre même l'accalmie est fréquente, mais de courte durée, et les grandes brises arrivent brusquement.

Un baromètre haut peut persister pendant une assez longue période de beaux jours avec des brises variables du quart N. E. Le changement de temps a lieu généralement par des vents équatoriaux qui apparaissent d'abord dans les hautes régions de l'atmosphère et y amènent peu à peu les nuages. — Une rétrogadation des vents dans le quart N. O. frais, avec baisse, est un signe qu'une tourmente existe dans le Nord, tendant à descendre vers le Sud-Est de l'Europe : la ligne de parcours du mauvais temps s'est déjà rapprochée de nous. — Une rotation vers S. E. frais, avec baisse, indique des mauvais temps sur l'Atlantique tendant à s'avancer vers l'Est ou le Nord-Est : la ligne de parcours est très-rapprochée. — Une persistance dans le quart N. E. frais, avec baisse, doit faire craindre l'arrivée d'une tourmente sur le Sud de la France. La baisse peut être faible et les vents devenir cependant très-forts : c'est la ligne méridionale de parcours des tourbillons qui s'étend sur la France ou l'Espagne. Dans ce cas, le beau temps continuera sur le Nord. Mais il peut arriver aussi que la ligne septentrionale ayant une amplitude considérablement réduite n'atteigne plus que le Sud-Ouest de l'Europe; la moindre oscillation peut la reporter sur la France. Dans ce dernier cas, les hautes pressions peuvent exister sur l'Allemagne, la Suède et la Russie; elles s'étendent peu sur notre pays, particulièrement sur la région occidentale.

Un baromètre modérément bas peut également persister, mais moins longtemps, avec des brises de S. O. et un temps couvert ou pluvieux. Les tourmentes, les bourrasques ou les orages, suivant la saison, ne tardent guère à survenir. Suivant que les vents tournent à l'O. ou rétrogradent vers l'E. les mouvements tournants passent au Nord ou au Sud de la Manche.

Les perturbations accusées par le baromètre sont d'autant plus graves que la colonne mercurielle atteint plus haut ou

plus bas, surtout plus bas. Elles sont d'autant plus prolongées qu'elles s'annoncent plus longtemps à l'avance et aussi qu'elles sont plus profondes ; mais les grands mouvements du baromètre, surtout vers la baisse, peuvent se produire au loin et cependant les vents devenir forts surtout du quart N. E.

Une hausse rapide du baromètre est généralement peu durable, surtout si le vent mollit en atteignant le quart N. par l'O.; mais si la hausse existe avec des brises fraîches du quart N. E. elle peut tenir plus longtemps.

Une baisse brusque est assez ordinairement passagère, surtout si elle est peu considérable, mais il faut surveiller la hausse de la colonne mercurielle.

Dans les indications précédentes, nous avons passé en revue les cas principaux qui peuvent se présenter; mais, ainsi que nous l'avons vu dans le cours de cet ouvrage, bien des accidents peuvent surgir, et bien des déviations aux règles ordinaires peuvent se présenter. L'étude et la réflexion peuvent seules guider dans ces cas particuliers.

CÔTES DE BRETAGNE — DE SAINT-MALO A LORIENT

Les côtes de Bretagne, par leur position avancée dans la mer, sont les plus exposées à l'action des mauvais temps qui traversent l'Atlantique. Elles reçoivent généralement les premières atteintes des tourmentes venues de l'Ouest ; mais aussi elles échappent plus promptement que la Manche à leur action, et souvent elles sont déjà rentrées dans le calme que la tempête sévit encore sur la partie orientale de la Manche, particulièrement lorsque les tourbillons sont rabattus vers le Sud au travers de la mer du Nord et de l'Allemagne

Les vents du N. et N. E. sont moins souvent à redouter sur

les côtes de Bretagne, particulièrement celles du Midi, que sur les côtes Nord de la France et sur les côtes de Gascogne ; mais les vents du S. y sont quelquefois plus violents.

En dehors du degré de force qu'y atteignent les vents, les conditions d'entrée des ports rendent tel ou tel rhumb plus dangereux ; les côtes de Bretagne sont, en effet, très-accidentées, et leur exposition est très-variable de l'une à l'autre de leurs extrémités. On doit donc tenir compte, en chaque lieu, des conditions spéciales où l'on est placé.

Le baromètre étant haut sur la France, si la pression commence à faiblir, que les vents modérés du quart N. E. inclinent graduellement vers l'E. tendant vers le S., que le ciel se couvre graduellement et que le vent des nuages précède le vent des girouettes dans sa rotation directe, — le baromètre continuera de descendre et les vents de fraîchir en tournant au S. et à l'O. C'est une série de mauvais temps qui arrivent, plus ou moins graves suivant la saison et le degré de baisse du baromètre, et qui abordent l'Europe par les côtes d'Angleterre.

Si le vent parvenu à l'O. conserve sa force et que le vent des nuages continue à précéder celui des girouettes ; si en même temps le baromètre se relève d'une manière soutenue, — le vent continuera sa rotation vers le N. O. ou le N. en faiblissant graduellement. La tourmente s'éloigne vers la Baltique : c'est le retour au beau temps, mais, peut-être, pour quelques jours seulement.

Les vents ayant rallié le quart N., si le ciel reste couvert et si le vent des nuages rétrogade à l'O.; ou bien si les vents inférieurs tournent rapidement à l'E. tendant vers le S., — une nouvelle série de mauvais temps est peu éloignée.

Si, lorsque le vent atteint l'O. fort, le baromètre, qui s'est déjà mis à la hausse, fléchit de nouveau, il est à présumer que la baisse fera des progrès rapides et que la tourmente redoublera d'énergie du quart S. O.

Si la hausse barométrique a lieu sans que le vent dépasse le S. O., elle sera probablement peu durable : des vents forts de S. et S. O. accompagneront le retour à la baisse, sans que celle-ci devienne pour cela très-considérable. —Une forte tourmente passe au N. de l'Angleterre.

Lorsqu'en ralliant le N. O., le vent ne mollit pas, ou qu'il se relève par intervalle, si le baromètre monte plus rapidement à Brest qu'à Lorient, et surtout s'il baisse à Lorient, les fortes brises du quart N. sont à craindre. — La tourmente se rabat sur l'Allemagne par la mer du Nord.

Le baromètre étant près de sa moyenne avec des brises modérées du N. O., s'il survient une baisse brusque, on doit craindre des coups de vent du quart S. O. Le retour à la hausse pourra être tout aussi prompt, avec coups de vent de O. et N. O. — Une tourmente pénètre sur la France par les côtes Nord.

De faibles brises soufflant des régions N., si le vent tourne brusquement vers l'E. ou le S. avec chute rapide du baromètre, — les rafales et sautes de vent sont à redouter. Une tourmente tend à aborder la France par les côtes de Bretagne.

Si, pendant la baisse, les vents, au lieu d'incliner vers le S., se rangent entre le N. E. et le S. E. en fraîchissant, on peut s'attendre à de fortes brises du quart N. E. persistant jusqu'au retour de la hausse. — Une tempête pénètre sur la France par les côtes Ouest ou Sud-Ouest.

Le centre de la tourmente est toujours sur la gauche du vent et sur une ligne perpendiculaire à sa direction, quand cette direction n'est pas déviée par les saillies du sol. Le centre passe donc à droite ou à gauche du lieu où l'on est, suivant que la rotation du vent y est inverse ou directe ; il passe à une distance d'autant moindre que la chute du baromètre est plus rapide. Au centre même l'accalmie est fréquente, mais de courte durée.

Les fortes pressions barométriques peuvent durer pendant une assez longue période de beaux jours avec des brises variables des régions N. E. ou S. E.; mais cette période est plus fréquemment interrompue sur la Bretagne que sur la Manche par les bourrasques passant sur l'Atlantique en vue des côtes, pour se transporter vers les hautes latitudes. Le changement de temps a lieu généralement par des vents équatoriaux qui apparaissent d'abord dans les régions élevées de l'atmosphère et y apportent les cirrus, puis les cumulus. Les vents ne tardent pas à fraîchir des quarts S. O., S. et S. E., suivant que les mauvais temps abordent les côtes à des latitudes plus ou moins élevées. Une rétrogradation du vent de l'E. au N. O. par le N. avec baisse rapide rendrait probables les grandes brises du quart N. O. — Une tourmente existerait dans le Nord tendant à descendre sur l'Allemagne et la France.

Un baromètre modérément bas peut également persister quelque temps avec des brises du quart S. O., mais les mauvais temps ne tardent généralement pas à survenir.

Sur les côtes Nord de la Bretagne, le régime des vents a beaucoup d'analogie avec celui des côtes de la Manche : les fortes brises du quart N. E. y sont un peu moins fréquentes. Les côtes Sud offrent plus d'analogie, sous le rapport des vents, avec celles du golfe de Gascogne; mais elles sont plus exposées aux coups de vents du S. O.

CÔTES DE GASCOGNE — DE NANTES A BAYONNE

Les côtes Ouest de la France, de Nantes à Bayonne, sont déjà un peu éloignées de la ligne de parcours la plus ordinaire des mauvais temps. Lorsqu'elles sont envahies par le cercle d'action directe des tourmentes, ce n'est en général qu'assez tard, quand ces tourmentes ont une grande étendue ou que leur cen-

tre passe à des latitudes peu élevées, ou bien quand, refoulées vers le Sud au travers de la France et de l'Allemagne, elles se transportent sur la Méditerranée.

Des bourrasques abordent cependant la France directement par les côtes de Gascogne.

La saillie considérable que présente la péninsule hispanique au Midi de la région des côtes Ouest, tout en abritant cette région contre les premières atteintes des mauvais temps, y détermine souvent des vents réfléchis du N. E. ou des vents d'appel du S. E. dont on doit se défier. A ces vents succèdent assez ordinairement des brises du quart S. O. d'autant plus fortes que l'on s'éloigne davantage du massif des Pyrénées : le peu de saillie du terrain n'offre d'ailleurs que de faibles obstacles au développement de ces brises. Au pied même du massif, à Bayonne, les plus forts coups de vent sont à peu près parallèles à la chaîne et presque toujours du quart O. N. O., plus rarement de S. O. Ils sévissent alors que la direction générale du vent sur la côte a dépassé l'O. vers le N.; ils sont d'autant plus violents que les Pyrénées font obstacle à leur expansion dans le Sud.

Les vents d'O. sont les plus dangereux sur toute la côte, à cause du petit nombre d'abris qu'elle présente et des bas-fonds qui la bordent. Les vents des quarts N. ou N. E. y sont quelquefois assez violents, les premiers quand une tourmente traverse, du Nord au Midi, l'Allemagne ou la France, les seconds lorsque la Méditerranée est envahie par une tempête tournante.

Le baromètre étant haut, des vents frais d'entre N. E. et S. E accompagnés d'une baisse barométrique sont l'indice de mauvais temps sur l'Atlantique.

Si la baisse fait des progrès, si le ciel se couvre, si le vent des nuages précède le vent des girouettes dans sa rotation vers la gauche, le vent tournera vers l'O. par le S., et les coups de vent sont d'autant plus à craindre que le baromètre sera des-

cendu plus bas et plus vite. — Une tourmente aborde l'Europe par les côtes d'Angleterre ou du Nord de la France.

Si le vent, ayant atteint le S. ou S. O., le baromètre commence à remonter d'une manière soutenue, si le vent des nuages continue à précéder celui des girouettes, la tourmente remonte vers le Nord. — Le vent faiblira en ralliant progressivement le N. O. ou le N. Il convient cependant alors de surveiller la marche des instruments.

Si après un mouvement de hausse le baromètre fléchit de nouveau, si le vent des nuages tend à rétrograder vers l'O., les vents ne tarderont pas à suivre ce mouvement et à fraîchir. — La tourmente se rabat sur l'Angleterre vers le Midi.

Si, dans les mêmes conditions, la rétrogradation des nuages a lieu jusque vers l'O., c'est une nouvelle tourmente qui arrive de l'Atlantique vers les côtes anglaises.

Si la rétrogradation a lieu vers le S. E. ou l'E., une bourrasque s'approche des côtes Ouest, au Midi du lieu où la rétrogradation a été observée.

Si la hausse a été rapide, et si les vents tournent au S. E et S. frais, sans que la baisse revienne ou fasse de grands progrès, surtout vers Bayonne, de grandes brises du quart S. O. peuvent s'élever avec un baromètre de hauteur moyenne et même au-dessus de la moyenne. — Une tourmente passe au large remontant vers les hautes latitudes.

Mais si, après une hausse rapide et tandis que le baromètre baisse, le ciel se tient au beau, ou si les nuages, quand il en existe, continuent à chasser du N. ou N. O., on doit craindre les grandes brises du N. qui persisteront même après le retour de la hausse. — Une tourmente descend de la mer du Nord au travers de l'Allemagne.

Si la baisse a lieu surtout vers Bayonne, ou si le baromètre se relève rapidement surtout vers Rochefort, les vents rallieront le N. E. et l'E. fort, et y persisteront même après le retour des

fortes pressions. — La tourmente aborde la Méditerranée tendant vers l'Afrique occidentale.

Le baromètre étant à une hauteur moyenne et les vents variables du quart N. E., si la baisse et les nuages surviennent rapidement, on doit craindre les rafales et les sautes de vent à l'O. et N. par le S., ou au N. O. par le N., suivant le point de la côte où on se trouve. — Une bourrasque pénètre sur la France par les côtes Ouest, le centre passant au Nord ou au Sud du point considéré. Ces bourrasques, à moins qu'elles ne soient fortement orageuses et toutes locales, sont ordinairement amorties dans leurs effets par la saillie des Pyrénées, ce qui n'a plus lieu quand elles abordent plus au Nord.

Sur les côtes de Gascogne, les variations barométriques sont déjà notablement moindres que sur les côtes Nord. Les pressions extrêmes y sont moins éloignées de la moyenne et moins durables.

CÔTES DE LA MÉDITERRANÉE — DE PORT-VENDRES A MENTON

La Méditerranée est plus rarement envahie par les tempêtes tournantes que les côtes Nord ou Nord-Ouest de l'Europe ; elle est cependant loin d'en être exempte. Quelquefois ces tourmentes y arrivent par le Sud de l'Espagne et le Nord-Est de l'Afrique. Le plus ordinairement, elles y parviennent après avoir traversé la France, l'Allemagne et même la Russie. Par contre, les tempêtes des golfes du Lion et de Gênes ne sont pas toutes produites par des mouvements tournants venus de l'Atlantique. De semblables mouvements peuvent y naître sous l'influence de conditions topographiques toutes locales.

De forts coups de mistral surviennent souvent à la fin d'une tempête qui a sévi sur le Nord-Ouest de l'Europe, lorsque le

baromètre se relève sur nos côtes Ouest et que la direction générale des vents en France a dépassé l'O. vers le N. Dans ce cas, le courant aérien est dévié vers le Sud par le plateau central et le massif des Alpes. Son lit, très-large sur les bassins réunis de la Garonne, de la Loire et de la Seine, se trouve graduellement rétréci entre les Alpes et les Pyrénées, et la rapidité de son cours est accrue dans la même proportion. Le vent souffle en éventail sur la côte. Sa direction O. N. O. vers Perpignan et Narbonne s'incline au N. O. à Montpellier, vers le N. à Marseille et Toulon, et quelquefois au N. E. à Antibes. Cette convergence des vents sur la mer suffirait à elle seule pour produire un tourbillonnement de l'air; une autre cause intervient. Dans le grand bassin compris entre l'Espagne, la France et l'Italie, le golfe du Lion est seul accessible aux vents du N. O. Le golfe de Gênes en est abrité par les contre-forts des Alpes maritimes. Il se produit là un effet analogue à celui qu'on remarque lorsqu'un courant d'eau rapide pénètre dans un bassin par sa partie latérale : toute la masse d'eau se met à tournoyer. Aussi, quand le mistral donne avec force, voit-on fréquemment le vent souffler du quart O. S. O. à Ajaccio, et de l'E. sur les côtes de Ligurie. Un mouvement semblable se produit dans la mer: un courant du Nord-Nord-Ouest règne à une certaine distance des côtes, tourne vers l'Est dans le voisinage de la Corse et porte à l'Ouest, le long des côtes de France : c'est ce dernier courant qui transporte les alluvions et les sables du Rhône dans le port de Cette, tandis que celui de Marseille en est complétement garanti. Les vents de remous sont extrêmement capricieux; le plus faible changement dans la force et la direction du mistral ou du vent général suffit à les renverser, et les prévisions dans de telles conditions sont extrêmement difficiles.

De forts coups de vent des régions S. E. peuvent également s'élever au début d'une tourmente qui passe dans le voisinage du golfe de Gascogne; si la tourmente étend son action directe

jusque sur le golfe du Lion, le vent y tourne au quart S. O.

Les vents des régions N. O. sont généralement secs sur nos côtes méditerranéennes. Les vents du S. ou S. E. y sont au contraire humides ou pluvieux ; on les confond souvent avec le *sirocco*, vent des déserts d'Afrique, bien qu'ils aient une origine beaucoup moins méridionale. A terre, ou en mer à une petite distance des côtes, ces directions du vent sont considérablement modifiées, surtout dans la partie orientale de la région, vers Hières, Nice, Menton, par les saillies du sol. Plus qu'en aucune autre partie des côtes de France, le marin doit y tenir compte des conditions locales au milieu desquelles il se trouve.

Après une série de temps calmes pendant lesquels la pression est restée forte, avec des brises variables de N. à E. le matin, si le baromètre baisse, particulièrement à Toulon, avec une tendance des vents à rallier le N. O., — le mistral restera fort jusqu'après le retour de la hausse barométrique.

Le baromètre étant à une hauteur moyenne, s'il monte d'une manière graduelle mais assez rapide, et que les vents restent modérés des régions N. ou E., la baisse barométrique survenant, et commençant par Toulon, donnera lieu à de fortes brises ou à des coups de vent de N. O.

Dans l'un et l'autre cas, si la baisse devient considérable en s'étendant vers Cette, et si le ciel se charge de nuages, les vents tourneront à l'E. et S. E., et souffleront de ces rhumbs avec d'autant plus de violence que le baromètre sera descendu plus bas. — Une tourmente a envahi la Méditerranée après avoir été refoulée du Nord vers le Midi au travers de l'Allemagne.

Le baromètre étant modérément bas, si le ciel est couvert ou pluvieux, avec des brises modérées ou assez fortes des régions S. ou O., lorsque la hausse reparaît, on peut s'attendre à l'arrivée du mistral d'autant plus fort que la hausse est plus rapide.

Lorsque le baromètre est bas, avec de bonnes brises d'E. ou

N. E., que le ciel s'éclaircit et que le baromètre monte, le vent ne tarde pas à souffler des régions N. O. avec d'autant plus de force que la hausse est plus rapide. — Dans ces divers cas, des tourmentes passent dans l'Ouest de l'Europe abordant le continent à des latitudes variables.

Le baromètre étant à une hauteur moyenne avec brises variables des régions N., si un mouvement de hausse a lieu avec tendance des vents à incliner vers l'E., si à cette hausse temporaire succède une baisse graduelle et que le ciel se couvre, le baromètre continuera de descendre et le vent de tourner au S. E. ou S. O. en fraîchissant, avec pluie. La force du vent sera d'autant plus grande que le baromètre atteindra plus bas. Cette situation durera tant que le baromètre restera plus bas à Montpellier qu'à Marseille ou Toulon. Dès que les deux pressions tendront à s'égaliser, que le vent des nuages aura dépassé l'O. vers le N., le ciel se nettoiera, le mistral commencera de paraître et la hausse barométrique se fera sentir d'abord à Cette et Montpellier, puis à Marseille et Toulon. — Une tourmente a passé sur le Nord de l'Espagne et l'Ouest et Nord-Ouest de la France.

Un retour des vents vers le N. tendant à l'E., une baisse nouvelle et la réapparition des vapeurs ou nuages sont l'indice de l'arrivée d'une nouvelle série de mauvais temps.

La pression étant faible et les vents frais des régions E., le baromètre peut remonter brusquement avec coup de vent du N. O. peu durable.

La pression étant très-faible et les vents violents des régions E., le baromètre peut remonter graduellement, les vents conservant la direction du quart E. et faiblissant peu à peu jusqu'à ce qu'ils reviennent au N. O. Au point le plus bas du baromètre, une saute de vent peut se produire avec coup de vent du N. O. — Une bourrasque, venue du golfe de Gascogne, a longé les Pyrénées pour gagner le golfe du Lion.

Bien que d'une manière générale le baromètre soit haut avec les vents des régions N. O. et bas avec les vents des régions E. et S., un baromètre à une hauteur moyenne et qui monte présage souvent des vents frais de l'E., surtout si le ciel se couvre. De même un baromètre haut et qui baisse présage de fortes brises du N. O. La baisse commence dans le golfe de Gênes, sous l'abri des Alpes : la hausse est surtout prononcée dans le Nord-Ouest des Cévennes, là où l'étranglement du lit du courant aérien est le plus prononcé.

§ VIII. — Service agricole.

La première demande adressée à l'Observatoire pour en obtenir des renseignements sur l'état de l'atmosphère, émane d'une association de grands propriétaires du Mecklembourg. Cette demande fut transmise à Paris par voie diplomatique, et, du 1er août au 15 septembre 1863, une dépêche télégraphique indiquant les changements que nos cartes synoptiques nous faisaient entrevoir dans l'état du ciel, fut expédiée chaque jour au président de l'association. Cet essai d'application de la météorologie télégraphique à la conduite des opérations agricoles a été renouvelé en France en 1865.

Les dépêches adressées à l'étranger en vue du service de leurs ports, renferment, depuis la fin de 1863, les renseignements que désirait obtenir l'association du Mecklembourg ; les dépêches adressées à nos ports sont plus spécialement rédigées à leur point de vue.

Les besoins de l'agriculture sont tout autres que ceux de la marine. Pour celle-ci, la force et la direction du vent sont les points essentiels, l'état du ciel est secondaire. Pour l'agriculture, au contraire, l'état du ciel est le point capital.

Les récoltes ne redoutent guère les tourmentes de l'hiver; mais les allures du grand courant équatorial peuvent exercer sur elles une assez fâcheuse influence. Si le courant se rapproche trop près de nos côtes sur l'Atlantique, s'il se prolonge trop avant dans l'Est et avec une persistance trop durable, l'hiver est doux et pluvieux; s'il remonte trop haut dans le Nord, l'hiver est sec et froid; s'il reste dans une position intermédiaire et que des bourrasques descendues du Nord traversent l'Europe moyenne, la terre se couvre de neige, le sol s'imprègne d'eau peu à peu, les sources s'avivent, les animaux nuisibles sont réduits dans leur nombre.

Le printemps est une saison critique, particulièrement dans les premiers jours de mai, où quelques heures suffisent pour anéantir les plus belles espérances de récoltes.

Un été trop sec est défavorable à la généralité des produits du sol; un été trop pluvieux est encore plus fâcheux. Dans cette saison comme dans l'hiver, le courant équatorial ne doit être ni trop près ni trop loin de nous, car c'est lui qui dispense les pluies sur son parcours.

Tant qu'une récolte est pendante, le cultivateur subit le temps d'une manière passive, à de rares exceptions près; mais à l'époque des labours et des semailles, et particulièrement lorsque les fruits de la terre sont prêts à être recueillis, l'avis des changements du temps, de l'arrivée des beaux jours ou des pluies, et surtout de l'approche des orages, peut être pour lui d'une incontestable utilité.

Mais ces avis, pour être efficaces, doivent pénétrer jusque dans les moindres hameaux; ils doivent être assez clairs et assez simples, non pour indiquer au cultivateur ce qu'il doit faire, mais pour aider à son expérience des signes du temps, et pour mieux asseoir son jugement en en élargissant la base; ils doivent enfin gagner assez d'avance sur le temps réel, pour parvenir utilement aux intéressés, soit qu'ils aient à se mettre en garde contre

une perturbation violente, soit qu'ils aient à choisir l'époque la plus favorable pour entreprendre des travaux de quelque durée.

Il s'agit, comme on voit, d'un vaste ensemble d'études à poursuivre et de mesures à prendre. Nulle autre époque ne peut être plus favorable à une entreprise de cette nature.

Il existe en France toute une corporation d'hommes d'un grand savoir et d'un grand dévouement aux intérêts de l'agriculture : ce sont les ingénieurs chargés du service hydraulique dans les départements. La nature de leurs fonctions les met en rapports continuels avec les cultivateurs et, dans un grand nombre de départements, ils se sont mis à la tête des commissions chargées de l'étude des orages en France. Réunis à des propriétaires intelligents, amis des sciences et de leurs applications à la prospérité de leur pays, ils peuvent devenir la base de l'organisation que nous rêvons depuis l'origine de nos travaux en météorologie.

Deux ingénieurs, M. de Mardigny, ingénieur en chef du département de la Meuse et M. Poincaré, ingénieur ordinaire du service des inondations dans le même département, ont, les premiers, tenté d'entrer dans cette voie.

Depuis un assez grand nombre d'années, une étude suivie du régime de nos principaux cours d'eau a permis de prévoir leurs crues et d'avertir à l'avance les riverains menacés par l'inondation. La commission hydrométrique du Rhône et de la Saône, présidée par M. Fournet, de Lyon, est arrivée sur cette question d'un grand intérêt à des résultats remarquables; nous avons cité, d'autre part, les travaux de M. Belgrand sur les cours d'eau du Nord et du Nord-Ouest de la France. Des études semblables ont été faites par M. Poincaré sur la Meuse et ses affluents.

En janvier 1865, un système de signaux avait été organisé dans les départements de la Meuse et des Vosges. Le désir de pouvoir annoncer le plus longtemps possible à l'avance les

inondations dans les parties supérieures de la vallée, conduisit M. Poincaré à se livrer à des essais de prévision du temps. Ces premiers essais l'ont tout naturellement conduit à cette pensée qu'il ne devait pas limiter ses efforts à la question des crues. Par les moyens dont il dispose et par la nature de ses occupations, le service hydraulique a paru à cet ingénieur distingué, « appelé plus utilement qu'aucun autre, à rendre à l'agriculture par l'annonce du temps, des services analogues à ceux que le service météorologique rend à la marine[1]. »

M. Poincaré demanda qu'il lui fût expédié chaque jour de l'Observatoire :

1° Un résumé succinct de la situation générale;

2° La probabilité, pour le lendemain, de l'état du ciel dans la Meuse et de la direction dominante du vent à la *hauteur des nuages ;*

3° Quand il y a lieu, la marche des orages qui paraîtraient devoir passer sur le département de la Meuse.

Les renseignements demandés par M. Poincaré lui furent adressés à partir du 1er mai 1865[2]. A l'aide de ces documents expédiés par télégraphe, et du *Bulletin international* de la veille, joints à une observation suivie des instruments et de l'état du ciel et à la connaissance des conditions météorologiques de sa région, M. Poincaré établit, chaque jour, les probabilités du lendemain et les fait porter immédiatement à la connaissance des populations agricoles. Les tableaux comparatifs dressés par cet ingénieur entre ses prévisions, rendues publiques, et les faits réalisés, montrent que dans cette voie on peut déjà obtenir des résultats satisfaisants. Ces résultats le deviendront plus encore sous le rapport, soit de la précision, soit de l'avance des présages, lorsque les études d'ensemble auront

[1] Lettres de MM. de Mardigny et Poincaré, *Bulletin international* du 23 septembre 1264.

[2] *Bulletin international* du 15 juillet 1865.

mieux fait connaître la marche des phénomènes atmosphériques, et que la pratique aura mieux enseigné chacun de nous. C'est dans l'union des études générales faites au centre du service et des études faites sur place, que l'on trouvera la solution de la question si intéressante des avis à donner aux agriculteurs sur la probabilité du temps.

Une science nouvelle est en voie de formation, science éminemment utile dans son but, éminemment générale par le nombre des intérêts qu'elle peut servir. Nous ne voulons rien préjuger sur les moyens qui seront mis en usage pour que ses fruits pénètrent dans les plus petits recoins du territoire; nous ne dirons même rien de l'organisation que nous croirions la plus favorable pour y parvenir : il y a là une question d'administration qu'il ne nous appartient pas de traiter dans cet ouvrage. Mais nous pouvons, avec la confiance d'être entendu, faire appel au concours de tous les hommes amis de la science dans nos compagnes. Leurs intérêts comme leurs plaisirs sont sous la dépendance des variations de l'atmosphère; l'état du ciel est fréquemment l'objet de leur attention, ses changements un motif de préoccupations pour eux; leur pratique individuelle, jointe à l'expérience confuse du passé, leur donne un tact météorologique souvent très-remarquable. Que tous apportent dans leurs observations l'esprit de méthode que l'on rencontre chez beaucoup d'entre eux, et qu'ils prennent pour base de leurs comparaisons et de leurs études les résumés généraux de l'état atmosphérique publiés par plusieurs journaux. Ils atteindront ainsi un double but. « Ils seront toujours sûrs, a écrit l'un des leurs, M. de Gasparin, de trouver une douce et utile occupation dans les observations météorologiques, dans leur comparaison avec celles des autres lieux et des autres temps; et en charmant leurs loisirs, ils prépareront l'époque où la météorologie acquerra la certitude qui lui manque et où les conjectures relatives aux phénomènes futurs deviendront des probabilités. »

Nous ajouterons qu'en travaillant aux progrès de la science générale ils hâteront la marche de leur propre instruction.

Les *signes du temps* ne conduisent très-souvent qu'à des appréciations vagues et incertaines, parce que le champ d'observation est trop limité pour chaque observateur isolé. L'observatoire est comme une vigie dont l'œil s'étend à la fois sur toute la surface de l'Europe et même au delà, sur l'Atlantique d'où nous viennent les mauvais temps; la connaissance des faits lointains qu'il signale peut singulièrement aider l'œil exercé de l'habitant des campagnes. Montrer les causes toujours simples auxquelles se rattachent les effets complexes au milieu desquels on s'égare quelquefois, c'est aider au classement des signes du temps, à la fixation de leur valeur individuelle ou d'ensemble, et donner plus de sûreté à leur interprétation. Il est d'ailleurs des phénomènes qui, par leur soudaineté, échapperont toujours aux prévisions du météorologiste livré à ses seules ressources, que l'Observatoire peut entrevoir de loin et qu'il peut, par ses avis, signaler à la vigilance publique. Le météorologiste prévenu pourra fixer son attention sur des signes qui eussent passé inaperçus.

L'Observatoire, à son tour, peut tirer le plus grand profit d'observations multipliées à la surface de la France, même sans le secours des instruments.

Nos cartes synoptiques générales n'abordent point les détails qui forment une branche à part de nos études. L'examen de ces détails a été entrepris en ce qui concerne les orages de 1865; et, bien que leur étude ne soit pas encore achevée, d'importants résultats en découlent déjà relativement à la prévision de ces météores redoutés. Il importe d'aller plus loin et de construire spécialement pour la France des cartes synoptiques quotidiennes destinées à suivre dans chaque mouvement particulier de l'atmosphère la marche des nuages et des pluies à la surface de la France. Avec les secours de ces cartes, dès qu'un

mouvement général s'annoncera par la déformation caractéristique des courbes d'égale pression barométrique à la surface de l'Europe, il deviendra possible de fixer quelques jours à l'avance le lieu et l'heure où tel phénomène donné fera son apparition. Cette affirmation paraîtra peut-être sortir de la réserve ordinaire à un homme qui n'a que les intérêts de la science à servir; elle est le résultat d'une foi profonde inspirée par les progrès réalisés en peu d'années et par les immenses ressources que la faveur publique apporte à la science nouvelle.

Nous avons parlé d'observations sans instruments. L'examen du ciel n'en exige en effet aucun, et nous préférons cette inspection pure et simple à l'emploi exclusif du baromètre avec les prévisions enregistrées à l'avance sur son échelle. Mais le météorologiste se prive d'un secours très-puissant lorsqu'il néglige de joindre l'observation des instruments à l'état du ciel et à la marche des nuages ou des vents inférieurs.

Le baromètre est le premier de tous les instruments météorologiques. Le commerce en fournit actuellement de très-portatifs et d'un prix très-peu élevé. Un jour viendra où chaque village aura son baromètre communal comme il a son horloge, et où le cultivateur le consultera chaque jour à sa rentrée des champs ou avant d'entreprendre son travail. Ces instruments nouveaux suffisent pleinement aux usages ordinaires. Les besoins de la science en exigent de plus précis, contrôlés avec un grand soin et observés par des hommes exercés. Un seul baromètre réunissant ces conditions suffit par département, et toutes les écoles normales primaires en ont été munies. Les mêmes remarques sont applicables aux thermomètres et aux hygromètres que le commerce fournit à des prix encore plus minimes, tant qu'ils sont destinés à constater la marche générale du temps. A ce point de vue, leur degré d'importance les place après le baromètre; mais, comme la température varie plus d'un lieu à l'autre que la pression barométrique, au point

de vue de l'étude du climat de la France, ils reprennent l'avantage, et leur nombre doit être plus multiplié[1].

§ IX — Pronostics.

La prévoyance des faits à venir, même en météorologie, a été longtemps considérée, d'après Laplace, comme « le résultat d'un calcul de probabilités[2]. » Il en pouvait être ainsi à une époque où les lois des mouvements de l'atmosphère étaient à peu près complétement ignorées ; aujourd'hui que l'on commence à entrevoir ces lois, le calcul des probabilités ne peut plus fournir que quelques premiers jalons dans la discussion et l'interprétation des faits présents. Le médecin peut, lui aussi, faire des calculs de probabilités ; il peut leur donner une certaine part dans l'établissement de ses pronostics ; le cas particulier placé sous ses yeux aura toujours une influence prépondérante sur ses jugements.

PRONOSTICS TIRÉS DU BAROMÈTRE

Le baromètre attira, dès qu'il fut connu, l'attention des observateurs. On remarqua qu'il baissait habituellement dans les temps pluvieux, qu'il montait avec le beau temps ; on se hâta de placer à côté de la colonne de mercure une échelle qui s'est perpétuée jusqu'à nos jours, et qui porte à sa hauteur moyenne le mot *variable;* au-dessus de variable, les mots *beau temps*, *beau fixe*, *très-sec* sont espacés de 9 en 9 mil-

[1] *Instructions sur l'installation et l'usage des instruments de météorologie*, par H. Marié Davy. — Chez V. Masson.
[2] *Cours d'agriculture*, par le comte de Gasparin, t. II.

limètres; au-dessous, également de 9 en 9 millimètres, on a inscrit les mots *pluie ou vent*, *grande pluie*, *tempête*.

En admettant même la vérité du sens général de ces indications, il ne faut pas perdre de vue que la hauteur moyenne du baromètre varie avec les lieux et qu'elle baisse rapidement quand on pénètre sur des montagnes peu élevées. A Genève, par exemple, la hauteur moyenne du mercure est de 727^{mm} environ. Un instrument gradué pour Paris serait donc à Genève toujours au-dessous de grande pluie ou tempête. Si l'on voulait simplement déplacer l'échelle pour y faire correspondre le mot variable avec la hauteur moyenne du baromètre, on tomberait dans un autre inconvénient. Les variations dans la pression de l'atmosphère se produisent surtout dans ses couches inférieures qui sont les plus denses. Toutes choses égales d'ailleurs, l'excursion de la colonne mercurielle est donc d'autant moindre qu'on est dans un lieu plus élevé, et notre baromètre à Genève ne marquerait jamais ni beau fixe, ni tempête. Un effet semblable se produirait en s'avançant du Nord au Midi. Dans les régions tropicales, par exemple, l'échelle n'a plus aucune valeur; et des perturbations atmosphériques d'égale énergie dépriment sensiblement moins le baromètre dans le Midi de la France que dans le Nord. Il n'en résulte pas d'inconvénients bien sérieux quand on est prévenu et qu'on est habitué à son instrument. Il ressort toutefois des faits précédents qu'il ne suffit pas de jeter les yeux sur un baromètre pour en conclure à première vue le temps probable; il faut l'avoir étudié et s'être familiarisé avec ses mouvements. On remarque alors que quelquefois le baromètre baisse par un temps calme et serein, que d'autres fois la pluie tombe par torrents et les orages les plus violents éclatent, quoique le mercure soit élevé et presque immobile. Les pronostics fournis par le baromètre varient avec les saisons comme avec les climats.

La hauteur moyenne du baromètre change avec la direc-

tion du courant général établi dans le lieu où on observe : cette hauteur s'accroît quand les vents inférieurs soufflent du N. E.; elle décroît quand ils soufflent du S. O. L'écart moyen entre les hauteurs correspondantes à ces deux vents est, d'après les calculs de M Bravais, d'environ 10^{mm} pour Middlebourg, 6^{mm} pour Paris, 5^{mm},5 pour Londres. Nous sommes bien loin des variations de 30 ou 40 millimètres observées quelquefois à Paris dans un intervalle de moins d'une semaine. Si nous entrons maintenant dans le détail des probabilités calculées par M. de Gasparin d'après les observations de P. Cotte à Montmorency, près Paris, nous trouvons qu'avec un baromètre à 728^{mm},5 les probabilités du vent d'entre S. et S. O. sont de 50 contre 50 pour les vents d'entre N. et N. E.; qu'à partir de 730^{mm} les probabilités sont en faveur des vents de S. et S. O.; qu'à partir de 755^{mm} l'égalité des probabilités est rétablie entre les deux vents ; qu'au-dessus la probabilité se range d'une manière de plus en plus nette vers les vents du N. ou N. E. Sous la pression 769, on a encore 21 fois des vents du S. O. contre 78 fois des vents du N. E.

Pour la pluie, les observations de Montmorency calculées par le P. Cotte ont donné les résultats suivants :

HAUTEUR DU BAROMÈTRE.	PROBABILITÉS DE PLUIE.	PROBABILITÉS DE NEIGE.
728 à 738 m.m.	0,70	0,22
738 à 742	0,58	0,04
742 à 751	0,46	0,04
751 à 760	0,19	0,01
760 à 769	0,08	0,00
769 à 721	0,00	0,00

Les mêmes observations donnent pour 1,000:

734 pluies avec un baromètre plus bas que la moyenne ;

346 pluies avec un baromètre plus haut.

Ces résultats montrent que la hauteur du baromètre, observée à un moment donné, ne suffit pas ; il faut tenir compte de ses hauteurs antérieures et de la nature de ses mouvements.

Sous ce rapport, les nouveaux baromètres métalliques nous semblent préférables aux anciens baromètres à cadran, dont l'aiguille présente souvent une grande inertie à se mouvoir.

Les désignations marquées sur l'échelle doivent être considérées seulement comme des points de repère, sans y attacher de signification absolue. Un seul fait est constant : une forte baisse du baromètre ne se produit jamais sans une perturbation grave de l'atmosphère. L'inverse n'est pas toujours vrai.

PRONOSTICS TIRÉS DU THERMOMÈTRE

Malgré le grand nombre de causes générales ou locales qui peuvent rendre son langage équivoque, le thermomètre peut cependant donner des indications très-utiles, surtout lorsqu'elles viennent fortifier celles du baromètre.

Quand en hiver le thermomètre descend en peu de temps de 4 ou 5 degrés au-dessous du degré indiqué le jour précédent à la même heure, on peut présumer que le vent tourne de la portion Sud-Ouest de la rose des vents pour aller se fixer dans la portion N. E. M. de Gasparin est plus affirmatif sur les indications du minimum de température que sur celles fournies par le thermomètre à l'une des heures de la journée.

Castellani pensait[1] qu'une élévation sensible dans la température minimum, en tenant compte de la saison, est presque certainement un indice de pluie prochaine. M. de Gasparin, en se fondant sur sa propre expérience, indique plusieurs pronostics plus complets que le précédent.

« Le vent partant de la région chaude et humide, la baisse des minima est un signe presque assuré de pluie le jour même ou le jour suivant ; l'air est alors saturé, mais clair : il y a chute de rosée ou brouillard le matin.

[1] *Bibliothèque universelle de Genève*, Sciences, t. XII.

« Si le minimum monte avec les vents froids et secs, ils sont près de leur fin et il peut y avoir pluie immédiate par l'entrée des vents du S., sans abaissement du minimum. La fixité des minima annonce la continuation du même temps.

« Les minima haussant graduellement annoncent que l'air devient de moins en moins transparent, qu'il se sature de vapeur et marche vers la pluie[1]. »

PRONOSTICS TIRÉS DE L'HYGROMÈTRE

L'hygromètre est un instrument populaire, sous la forme d'un capucin qui se couvre de son capuchon à l'approche de la pluie. Ce n'est point là un instrument de précision, tant s'en faut ; ses indications ne sont cependant pas sans utilité. Quand le baromètre baisse, que la température minima s'élève et que l'hygromètre s'approche de son maximum d'humidité, les probabilités d'une pluie prochaine sont très-grandes ; tandis que la baisse du baromètre lorsque l'hygromètre marche vers la sécheresse et que le thermomètre se maintient à son degré habituel peut très-bien être accompagnée d'une prolongation du beau temps.

En dehors des données scientifiques qu'il faut demander aux seuls hygromètres de précision, ces derniers, doués d'une plus grande sensibilité, offrent plus de ressources à l'observateur. Souvent, le matin, l'air est très-près de son point de saturation et s'en éloigne rapidement dans le milieu du jour. Lorsque l'excursion diurne devient moindre, que l'état hygrométrique des heures les plus chaudes s'élève graduellement sans que ce résultat puisse être attribué au seul effet d'un maximum thermométrique moindre, la probabilité de continuation du beau temps diminue

[1] *Cours d'agriculture*, t. II, p. 390.

Les conditions locales exercent une grande influence sur la marche de l'hygromètre ; il importe d'en tenir compte.

PRONOSTICS TIRÉS DE L'ÉTAT DU CIEL ET DES VENTS

L'état du ciel et des vents est le champ d'observation le plus ordinaire des habitants des campagnes. Chaque pays et presque chaque village a ses dictons, ses moyens d'appréciation locale transmis d'âge en âge. Il est d'autres formules qui ont un caractère de généralité plus marqué. Un soleil brillant présage une belle journée ; un soleil couchant, clair et sans nuage dans un ciel orangé, est un signe de beau temps ; si le ciel est rouge, c'est un signe de vent. Un soleil pâle, une chaleur étouffante annoncent la pluie ; un ciel rouge, avant le lever du soleil et se décolorant immédiatement après, est encore un présage de pluie. Il en est de même des dimensions exagérées que le soleil et la lune semblent prendre quelquefois à l'horizon, de l'auréole lumineuse qui s'étend autour de la lune, de la terminaison indécise de ses cornes, des ondulations présentées par les étoiles et qui font dire que ces astres *baignent*.

L'air prend souvent un aspect vaporeux dans les périodes de beau temps les mieux établies ; mais cette apparence ne s'étend généralement pas à une grande hauteur. Si le ciel est vaporeux lui-même, c'est un signe que les pluies sont moins éloignées : une transparence exceptionnelle de l'air est encore un signe plus prochain de leur arrivée.

Après une période de beaux temps, marqués par des vents des régions N. ou E. faibles ou modérés, l'apparition des *cirrus* accuse l'arrivée des courants du S. O. dans les hautes régions de l'atmosphère. Suivant les régions, ces nuages précèdent plus ou moins longtemps les chutes de pluie. A mesure qu'elles approchent, la pommelure du ciel augmente, les cumulus se

forment et deviennent plus volumineux et plus abondants.

Les brouillards *qui tombent* ou qui se dissipent entièrement sans former de nuages accompagnent le beau temps ; mais s'ils se renouvellent plusieurs jours de suite, s'ils font place à des nuages ou *qu'ils montent*, la pluie est très-probable.

§ X. — Prévision du temps dans les campagnes.

Le temps est doux et humide sur tout le parcours du grand courant du S. O. à la surface de l'Europe ; il est sec et beau sur le trajet du courant de retour et de direction inverse ; il est également calme et beau, ou vaporeux en été et brumeux en hiver, dans l'espace compris entre eux. L'oscillation du circuit général comprenant l'ensemble de ces deux courants doit donc être l'objet de toute l'attention du météorologiste.

La substitution du courant polaire au courant équatorial se fait par la diminution graduelle de l'ampleur du circuit dans le sens de l'Est à la surface de l'Europe. Elle s'annonce par l'apparition des fortes pressions barométriques dans le Nord ou dans l'Est, et les grands froids ou les grandes chaleurs débutent généralement sur le Nord de la Russie une huitaine de jours avant de s'établir sur la France. Les dépêches de Suède et de Russie peuvent donc nous faire pressentir leur invasion une semaine environ à l'avance ; il est à espérer même qu'on pourra les prévoir de plus loin.

La substitution du courant équatorial au courant polaire a lieu, au contraire, par l'Ouest ou le Nord-Ouest. L'Espagne, l'Irlande et l'Écosse en ressentent les premiers symptômes : c'est là qu'il nous faut les chercher. Cette substitution est graduelle comme la précédente, malgré les accidents qui la brusquent quelquefois. L'antagonisme, fréquemment observé entre les caractères

d'une même saison sur l'Amérique et sur l'Europe, donne aux renseignements qu'on pourra tirer quelque jour des États-Unis, comme à ceux de la Sibérie, un intérêt particulier.

L'établissement du courant équatorial sur la France n'est pas par lui-même une cause immédiate de pluies ou de mauvais temps; il faut, de plus, l'intervention des mouvements tournants de l'atmosphère qui s'y succèdent, il est vrai, presque sans interruption. L'établissement du courant polaire est quelquefois accompagné de pluie ou de neige, s'il est hâté par le passage d'une bourrasque et surtout s'il n'en est que la conséquence temporaire.

Dans ce qui va suivre, nous examinerons à part les phénomènes propres à la saison chaude. Ainsi que nous l'avons fait dans le paragraphe 7, traitant de l'usage du baromètre pour la prévision du temps dans les ports français, nous substituerons souvent, pour simplifier notre exposé, la forme affirmative à la forme dubitative la seule en rapport avec la nature du sujet.

SAISON FROIDE

Le baromètre étant haut, le ciel sans nuages, l'hygromètre au sec, le thermomètre au-dessus ou au-dessous de sa moyenne suivant le mois où l'on est, si le baromètre commence à baisser, s'il se forme dans les régions élevées de l'atmosphère des nuages légers (cirrus) marchant avec une extrême lenteur du S. O. au N. E., le courant équatorial s'approche de nous, et déjà il commence à régner dans les hautes régions. S'il fait froid, la température s'adoucit; s'il fait chaud, la chaleur devient plus molle. L'hygromètre marche vers l'humide.

Tant qu'aucune perturbation n'apparaît, les phénomènes précédents s'accentuent d'une manière lente et graduelle, le ciel

devient moutonneux, des cumulus isolés se forment; le beau temps peut se conserver assez longtemps.

Si le vent s'accélère des régions d'entre N. E. et S. E. à la surface du sol, si les nuages chassent plus vivement d'entre S. et O., une bourrasque passe dans le Nord-Ouest. Les pluies accompagnent rarement les premières apparitions de ces phénomènes, si ce n'est dans le voisinage de la ligne parcourue par leur centre, à moins que l'atmosphère n'ait eu le temps de se charger de vapeur. Il convient de surveiller les instruments.

Si la baisse du baromètre se ralentit pour faire place à la hausse, si la direction des nuages a dépassé l'O. vers le N., la probabilité de pluie s'est écartée ; mais la période des beaux temps se trouve entamée.

Si la baisse est, au contraire, un peu rapide, si le baromètre descend au-dessous de sa moyenne avant que la direction des nuages ait atteint l'O., la pluie est d'autant plus probable que l'on est plus près des côtes Ouest ou Nord-Ouest, ou plus élevé sur le versant Ouest ou Sud-Ouest d'une chaîne de montagne; elle sera d'autant plus abondante que l'air est plus chaud et plus humide, que la baisse est plus rapide et plus profonde; elle est d'autant plus prolongée que le vent[1] tourne plus lentement vers l'O. et le N. O. Dès que le baromètre commence à monter, que le vent s'approche du N. O., le ciel s'éclaircit. Une tourmente a passé dans le Nord.

Si la hausse qui survient alors est rapide, si le vent dépasse le N. O. vers le N. sans perdre beaucoup de sa vitesse, la pluie peut revenir par les vents du N. ou N. N. E. La tourmente redescend du Nord sur l'Allemagne ou l'Est de la France. La température baisse alors d'une manière très-sensible.

Si, par la hausse rapide, la force des vents tombe en attei-

[1] Chaque fois que nous ne spécifions pas, nous entendons ici parler du vent des nuages, les vents superficiels à la terre étant trop altérés par les saillies du sol.

gnant le N. ou avant même de l'atteindre, si la température a peu baissé, le beau temps sera peu durable : une nouvelle bourrasque ou tourmente suit la première à une intervalle d'un petit nombre de jours.

Si la température s'est soutenue, si les vents rétrogradent vers le S. O. après avoir à peine atteint le N. O., la suspension des mauvais temps est de très-courte durée. Les pluies se succèdent presque sans interruption jusqu'à ce que le baromètre revienne à la moyenne ou s'élève au-dessus et que les vents dépassent le N. O. vers le N.

Les mouvements tournants de l'atmosphère se succédant généralement à trois ou quatre jours d'intervalle, la recrudescence des pluies suit la même loi. Les bourrasques peuvent cependant être encore plus rapprochées comme elles peuvent aussi être plus distantes.

La baisse étant rapide, les vents, au lieu de tourner vers l'O., peuvent rester au S. et même rétrograder vers le N. E. ou le N. par l'E. avec pluie. Dans ce cas, le centre d'une bourrasque passe à peu de distance dans le Sud-Ouest.

Le centre d'une bourrasque ou d'une tourmente est toujours sur la gauche du vent, c'est-à-dire dans le Nord-Ouest, quand le vent est du S. O.; dans le Nord, quand le vent est de l'O.; dans l'Est, quand le vent est du N., dans le Sud, quand le vent est de l'E. : cela ne veut pas dire qu'une bourrasque existe chaque fois que souffle l'un de ces vents. Cependant, si nous exceptons les vents d'entre E. et N. pour la grande partie de la France, et les vents d'entre N. et O. pour la vallée du Rhône, le Languedoc et la Provence, un vent d'une force au-dessus de la moyenne et un baromètre au-dessous, particulièrement quand il y a pluie, annoncent une bourrasque qui vient, qui passe ou qui s'éloigne. Les vents exceptés se rattachent eux-mêmes fréquemment à des phénomènes semblables.

Le centre de la bourrasque se rapproche de nous tant que

le baromètre baisse. Dès que le centre a dépassé le point de sa trajectoire le plus rapproché, le mercure monte. Cette distance minimum est d'autant plus faible que les mouvements de baisse et de hausse se succèdent d'une manière plus brusque et plus rapide, que la rotation des vents est plus précipitée. On est au centre même ou à une très-faible distance, lorsque, le baromètre étant très-bas, le ciel s'éclaircit ou ne présente plus que des nuages isolés donnant des pluies de courte durée avec rafales de vent, ce que les marins appellent des grains. Les grains se produisent aussi sur le pourtour du mouvement tournant à une assez grande distance du centre, mais les mouvements du baromètre et la rotation des vents s'y effectuent avec lenteur.

Il est possible à un observateur de suivre à peu près la marche des tourmentes ou des bourrasques d'après les indications des instruments et sur l'inspection des mouvements des nuages.

Tant que le baromètre reste haut avec des nuages marchant des régions O., les bourrasques passent haut dans le Nord, les mauvais temps sont pour l'Irlande, l'Écosse, la Norwége, la Suède et la Russie.

Tant que les nuages marchent des régions S. avec baisse, il est à craindre qu'une bourrasque se rapproche plus près de nous, d'autant plus que la baisse est plus prononcée.

Dans le centre, l'Ouest et le Nord de la France, les mauvais temps avec tour de vents vers l'O. ou le N. O. montrent que le centre des bourrasques traverse l'Angleterre; les pluies s'étendent d'autant plus avant sur le Sud-Est de la France que le Nord-Ouest a été mouillé par des pluies antérieures : nous sommes en plein dans le courant équatorial, qui se prolonge plus ou moins avant dans l'Est de l'Europe. Comme les déplacements du circuit aérien sont lents, la probabilité est que le mauvais temps durera sur le Nord, l'Ouest et le centre de la France : le Midi peut conserver un beau ciel.

Si les vents tournent au N. fort, ce qui indique une bour-

rasque descendant du Nord sur l'Allemagne, c'est un signe que le circuit aérien a déjà perdu de son ampleur dans l'Est, la continuité et la durée du mauvais temps sont devenues moins probables. Le ciel peut être très-variable sur le Nord de la France; le Midi est au contraire plus menacé.

Si le centre de la bourrasque traverse la France du Nord-Ouest au Sud-Est, auquel cas la rotation du vent est inverse des deux côtés de la ligne parcourue, la fin de la période présente des mauvais temps est encore plus prochaine pour le Nord de la France, mais elle est souvent à son début pour le Midi.

Si le centre de la bourrasque aborde la France par le golfe de Gascogne et longe les Pyrénées, elle donne sur le Nord des vents d'entre N. et E. forts avec ciel nuageux ou très-beau; les pluies sont pour le Midi.

Un certain antagonisme existe donc entre les versants de la Méditerranée et ceux de l'Océan et de la Manche. Les pluies peuvent y être presque simultanées ou y alterner à de courts intervalles; mais souvent aussi l'une des régions passe par une période de beaux temps, tandis que l'autre traverse une période de pluies plus ou moins interrompues. Tandis que dans ces dernières années tous nos cours d'eau du Nord descendaient au-dessous de l'étiage, ceux du Midi avaient une surabondance d'eau comparativement à leur régime habituel.

Les vents les plus pluvieux sont : pour les versants de l'Océan et de la Manche, les vents du S. O.; pour le versant du Nord-Ouest des Cévennes, les vents d'entre O. et N. O.; pour le versant méditerranéen, les vents compris entre le N. E. et le S. ou S. O. D'après un dicton du Midi, le vent grec a pluie dans le bec; d'après un dicton du Nord, quand la bise (vent du N.) va à l'eau, elle y va à pleins seaux.

Tout mouvement brusque du baromètre vers la baisse ou la hausse est d'autant moins durable qu'il est plus rapide; lors-

qu'au milieu d'oscillations diverses le mouvement se continue lentement dans un même sens, l'état indiqué sera plus durable.

SAISON CHAUDE

Le caractère de l'été change beaucoup suivant que nous sommes placés dans le courant équatorial, dans le courant de retour ou courant polaire, ou dans l'anse comprise entre ces deux courants.

Dans le premier cas, l'été est froid et pluvieux, si le courant équatorial est bien établi sur l'Europe et s'il y est d'une certaine activité. Les signes du temps et les variations du baromètre ont alors la même valeur que dans la saison froide, comprenant l'automne, l'hiver, et une partie du printemps.

Dans le second, l'été est sec et brûlant pour les plantes; le baromètre se tient élevé, et les vents restent compris dans les rhumbs N. E. au milieu d'excursions peu durables tantôt vers le N. O., tantôt vers le S. E.

Dans le troisième, l'été est humide et chaud, les orages sont fréquents, et, malgré les désastres partiels occasionnés par ces météores, c'est l'état de l'atmosphère le plus favorable à la végétation.

La région comprise entre les deux courants généraux se trouve en effet sur la limite méridionale du courant venu de l'Atlantique et chargé des vapeurs enlevées à la surface des mers. Tout accident, tout mouvement tournant, même faible, qui se produit au milieu de cette masse d'air, se fait sentir à distance à la surface de la France, y amène les cumulus et ces longues traînées d'orages qui traversent toute la surface du territoire, en général du S. O. au N. E., en présentant vers le Nord-Ouest une concavité très-prononcée.

Ces orages impressionnent peu le baromètre dans les points

où ils passent; les mouvements tournants auxquels ils se rattachent étant eux-mêmes souvent très-peu énergiques, ne produisent en leur centre qu'une dépression barométrique peu considérable. C'est l'état général de l'atmosphère qui doit particulièrement servir de guide, et la marche des instruments doit être l'objet d'un redoublement d'attention.

Les orages n'arrivent jamais avec un baromètre haut; ils surviennent, même en hiver, quand un mouvement tournant bien accusé pénètre isolément sur la France; il en est à plus forte raison de même en été. Le mouvement tournant doit, pour amener des orages, être d'autant plus énergique que la saison est moins chaude et moins favorable à ces météores. Ni dans l'hiver ni dans l'été on ne les voit se former au milieu du courant équatorial bien établi, mais seulement sur son bord méridional ou quand son activité est très-faible en été.

Une baisse modérée du baromètre, un thermomètre médiocrement haut accompagnant un sentiment de chaleur étouffante, un hygromètre inclinant vers l'humide, de nombreux cumulus marchant lentement des régions O. ou S. O., sont les signes précurseurs de l'orage. Quand il approche, les cumulus s'étendent et s'abaissent; leur teinte neigeuse devient grise ou plombée; une vive agitation s'y remarque. Si la couche des nuages inférieurs n'est pas trop continue, on voit apparaître dans les intervalles qu'ils laissent entre eux des nuages plus élevés marchant dans des directions très-diversement inclinées sur celles des nuages les plus bas. Les uns et les autres obéissent aux mouvements des masses d'air dans lesquels ils flottent, à moins que des réactions un peu énergiques ne s'exercent entre les électricités dont ils sont chargés.

Les nuages chargés de grêle se distinguent des nuages ordinaires par leur couleur d'un noir plombé, par leurs mouvements désordonnés, par un bruit caractéristique dû à l'entrechoquement des grêlons.

L'antagonisme entre le Nord et le Midi de la France existe pour les orages comme pour les pluies. Les bourrasques orageuses sont sans action sur la Méditerranée quand leur centre passe dans le Nord de la France ; s'il y pénètre par les côtes de Gascogne, dans la vallée de la Garonne et de la Dordogne, la bande orageuse peut se partager en deux, dont l'une remonte vers la Belgique, l'Allemagne ou la Suisse, suivant l'inclinaison primitive du courant, et dont l'autre descend sur la Méditerranée en passant quelquefois par-dessus les départements qui la bordent. Les bourrasques orageuses qui traversent l'Espagne atteignent la Méditerranée, l'Italie, un peu les côtes françaises ; elles sont sans action sur le Nord de la France où elles peuvent, au contraire, activer les vents du N. E. et dessécher les plantes. Ce dernier effet peut être aussi produit lorsque des bourrasques atteignent le bassin occidental de la Méditerranée par l'Allemagne ou l'Autriche. Dans ce cas, la France est sur la limite du courant polaire de retour, le plus favorable à la continuation du beau temps, mais aussi le plus sec et le plus brûlant, bien que la sensation de la chaleur qu'il produit sur nous soit tempérée par l'activité qu'il donne à l'évaporation.

CHAPITRE XV

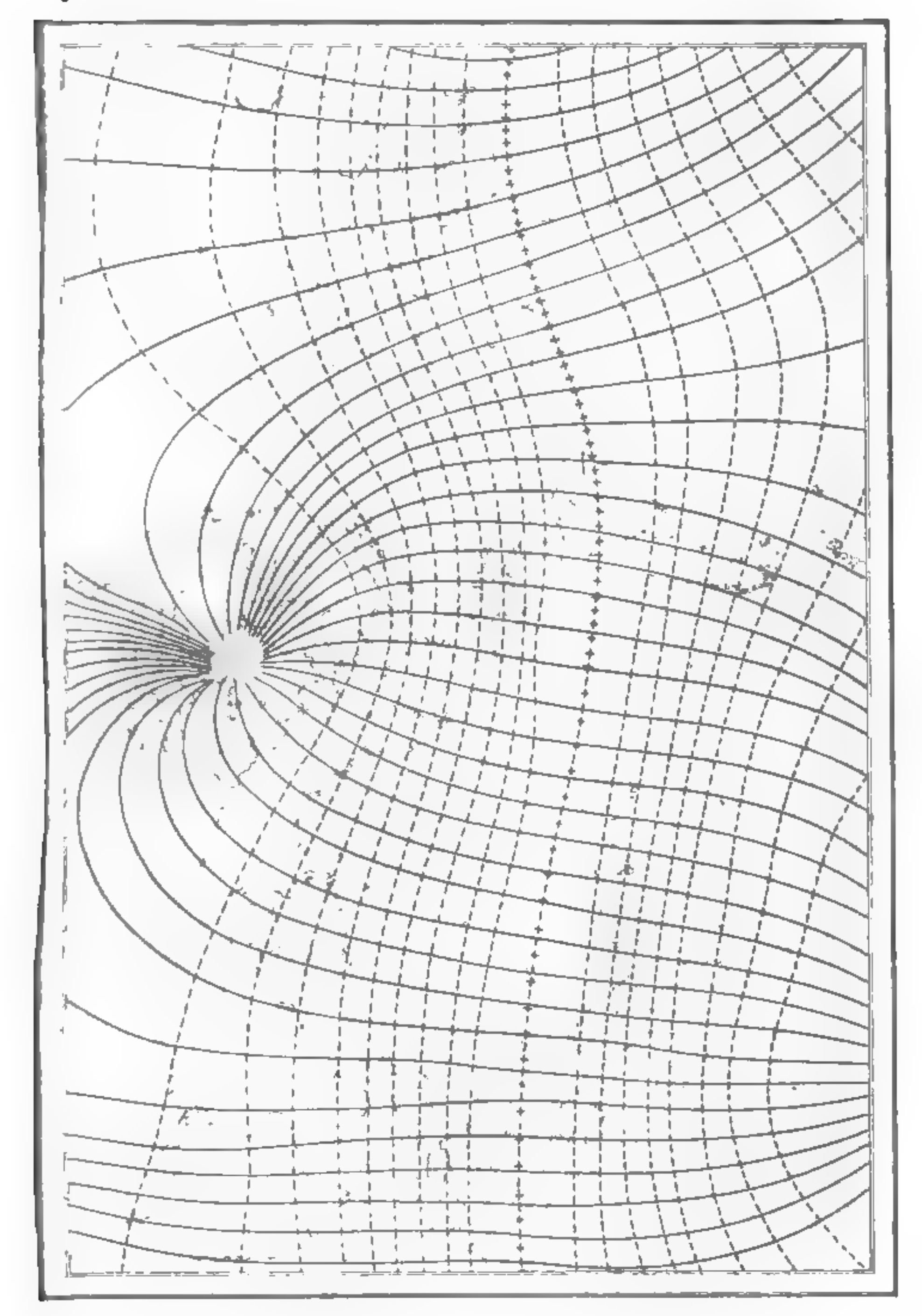
LES TEMPÊTES MAGNÉTIQUES

Plusieurs météorologistes considèrent le magnétisme terrestre comme étranger à la science du temps. Quelques-uns d'entre eux font remonter jusqu'au soleil la force directrice des boussoles et considèrent les agitations qu'on remarque souvent en elles comme le résultat de tourbillons nés à la surface de cet astre. Cette tendance à placer si loin de nous l'origine des mouvements de l'aiguille aimantée, montre combien la question est encore environnée d'obscurité. Ces mouvements sont d'ailleurs compris entre des limites fort étroites ; ils exigent, pour être observés, des instruments délicats, dont l'emploi sera toujours très-restreint. L'observation des variations de l'aiguille aimantée est à peu près exclusivement réservée à un petit nombre d'observatoires disséminés à la surface de la terre ; et, à ce point de vue, nous aurions pu nous dispenser d'en parler, s'il n'existait certaines relations remarquables entre ces variations et les mouvements généraux de l'atmosphère.

§ Ier. — Force magnétique du globe.

Une aiguille aimantée suspendue sur un pivot de manière à se mouvoir librement dans un plan horizontal, s'arrête dans

CARTE DES PARALLÈLES ET DES MÉRIDIENS MAGNÉTIQUES.



une direction sensiblement constante quand on n'y regarde pas de trop près. L'une des extrémités est tournée vers le Nord, l'autre vers le Sud. L'axe passant par les deux pôles ne coïncide pas exactement avec le méridien terrestre, au moins à la surface de l'Europe et sur une grande partie de l'Atlantique Nord. L'extrémité boréale se trouve un peu déviée vers l'Ouest : on appelle *plan du méridien magnétique* d'un lieu, le plan vertical passant par les deux pôles de la boussole en ce lieu, comme on appelle *plan du méridien terrestre* le plan vertical passant par les deux pôles du globe. L'angle de déclinaison de la boussole est l'angle compris entre ces deux plans. A Paris, la déclinaison est occidentale et d'un peu plus de 18 degrés et demi : elle varie beaucoup d'un lieu à l'autre.

Nous avons reproduit, figure 87, le dessin d'une boussole pouvant servir à mesurer la déclinaison magnétique en un lieu quelconque. On vise par exemple l'étoile polaire avec la lunette L, de manière à placer le plan vertical passant par l'axe de cette lunette dans le plan du méridien terrestre, ou à une distance de ce plan déterminée par les tables astronomiques ; puis on note la position occupée par l'instrument sur le cercle gradué. On tourne ensuite le support de la lunette mobile sur le cercle gradué, de manière que le pôle Nord de l'aiguille aimantée vienne exactement en regard d'un repère placé dans le plan vertical de l'axe de la lunette ; cette dernière, dans certains appareils, est construite de manière à servir à cette seconde opé-

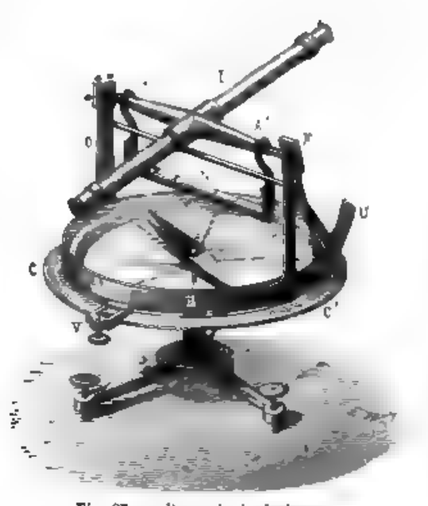


Fig 87 — Boussole de déclinaison.

ration. L'angle dont on a dû tourner l'instrument est l'angle de déclinaison. Un grand nombre de déterminaisons de ce genre ont été faites par MM. Sabine, de Blosseville, Duperrey, de Tessan... à la surface des divers océans.

Si, en partant de Paris par exemple, on s'avance vers le Nord en suivant le méridien magnétique, et qu'à chaque station on reconnaisse la direction nouvelle prise par ce méridien pour s'y conformer, on tracera sur la surface du globe une ligne flexueuse dont le prolongement jusqu'aux deux extrémités de la terre forme un méridien magnétique. Des lignes semblables ont été dessinées sur toute l'étendue de la planisphère terrestre, suivant la projection de Mercator. La planche XXIV, où elles sont tracées, est une réduction de l'une des cartes de l'*Atlas du Cosmos*, publié sous la direction de M. J. A. Barral, pour servir aux *Œuvres* de A. de Humboldt et de F. Arago ; elle ne diffère que très-peu des belles cartes données par M. Duperrey et qui se rapportent à l'année 1825. Au moyen de cette carte on peut déjà se faire une idée des changements éprouvés par la déclinaison d'un point à l'autre de la surface terrestre ; si l'on voulait obtenir des données plus précises, on consulterait les cartes du capitaine Duperrey ou les tableaux numériques extraits de ces cartes par M. Pouillet et insérés dans *les Éléments de physique expérimentale et de météorologie* de ce savant physicien.

Les méridiens magnétiques convergent vers deux points très-distincts des pôles terrestres. L'un d'eux, le mieux connu, est situé sur la terre de Boothia Félix, dans le Nord de l'Amérique septentrionale ; l'autre est dans le Sud de l'Australie : ce sont les pôles magnétiques de la terre. Dans ces points, la boussole devient *folle*, c'est-à-dire qu'elle n'a plus de direction déterminée.

La carte magnétique, vraie pour 1825, ne l'est plus complétement aujourd'hui. La déclinaison varie, en effet, lentement d'une année à l'autre en un même lieu. Elle était orientale à

Paris dans le seizième siècle ; l'écart angulaire était de 11° 30′ E. en 1580. Peu à peu cet écart a diminué jusqu'en 1663 où il est devenu nul ; puis le pôle Nord de l'aiguille a passé à l'Ouest du méridien terrestre. En 1700, la déclinaison était déjà de 8° O. ; elle est montée à 22° en 1785, à 22° 34′ en 1814 où elle a atteint son maximum ; elle décroît d'année en année. Les anciennes cartes semblent indiquer l'existence de deux pôles magnétiques dans l'hémisphère Nord, l'un dans la position qu'il occupe encore, l'autre dans le Nord de la Sibérie. Ce dernier aurait disparu, mais il en resterait encore des traces, en ce que l'intensité du magnétisme y présenterait un maximum comme sur le Nord de l'Amérique. La diminution de la déclinaison occidentale à Paris indiquerait qu'il tend à se reformer.

Nous attachons une assez grande importance à ces mouvements du magnétisme terrestre, parce que nous les croyons liés aux mouvements généraux de l'atmosphère. Nous pensons que leur étude permettra peut-être de s'expliquer certains changements observés dans nos climats d'Europe, changements que l'on attribue au progrès des déboisements et à une modification dans les procédés de culture, alors qu'ils auraient une cause beaucoup plus générale, tout en restant propres à notre globe. D'autres soins nous ont empêché, jusqu'à ce jour, d'aborder cet intéressant sujet.

Indépendamment des variations séculaires, l'aiguille est encore soumise à des *variations diurnes*. Pendant la nuit, elle demeure à peu près immobile dans nos climats ; mais elle se met en mouvement dès le lever du soleil ; son pôle Nord marche progressivement vers l'Ouest jusque vers une heure ou deux de l'après-midi où elle atteint son écart maximum, puis elle se rapproche vers l'Est et reprend à peu près sa position première vers 10 heures du soir. L'écart est de quelques minutes seulement et exige, pour être constaté, des moyens délicats d'observation. Nous examinerons plus loin les variations accidentelles.

Si au lieu d'une aiguille mobile dans un plan horizontal, nous employons une aiguille mobile autour d'un axe horizontal coïncidant exactement autour de son centre de gravité, nous verrons le pôle Nord s'incliner au-dessous de l'horizon d'un angle plus ou moins grand, suivant le plan dans lequel est placée l'aiguille. L'inclinaison minimum a lieu quand l'aiguille est dans le plan du méridien magnétique : c'est toujours dans ce plan qu'on la mesure.

La figure 88 représente l'appareil employé à cette opération. Il se compose d'un cercle gradué *l* bien vertical, au centre duquel repose, sur deux petits plans d'agate, l'axe de l'aiguille aimantée. Le cercle gradué *l* est mobile lui-même sur un second cercle horizontal CC', permettant de le placer exactement dans le plan du méridien magnétique.



Fig. 88. — Boussole d'inclinaison.

L'inclinaison magnétique change beaucoup d'un lieu à l'autre. La série des points où elle est nulle forme l'équateur magnétique, planche XXIV. L'équateur magnétique a été étudié d'une manière toute particulière, sur les recommandations expresses d'Arago, par M. Duperrey qui s'est servi pour le tracé de cette courbe, outre ses propres observations, d'un grand nombre de mesures faites par Sabine et de Blosseville. Cette ligne est assez irrégulière. Elle coupe l'équateur sur la côte occidentale de l'Afrique, remonte au Nord en s'avançant sur le continent jusque vers le détroit de Bab-el-Mandeb et l'île de Socotora,

touche seulement les extrémités méridionales de l'Asie, traverse les Carolines en se rapprochant de l'équateur qu'elle coupe de nouveau dans le Sud des Sandwich, s'incline vers le Sud, traverse l'Amérique de Lima à Bahia, puis se relève rapidement en traversant l'Atlantique. De chaque côté de l'équateur magnétique sont tracés des *parallèles* passant chacun par les points où l'inclinaison a la même valeur. Aux pôles même l'aiguille se tient verticale, et c'est pour cette raison seule qu'elle n'a plus aucune direction qui lui soit propre dans le plan horizontal.

L'inclinaison change également avec le temps dans un même lieu. Elle était de 75° à Paris en 1671; elle y est descendue à 67°,14′ en 1835, et à 65,55 à la fin de 1865, ce qui fait une diminution de 2 minutes et demie environ par an. Le mouvement ne paraît pas encore arrivé à son terme.

L'inclinaison n'est exempte ni des variations diurnes ni des variations accidentelles; elle augmente en général en même temps que l'intensité totale.

L'intensité avec laquelle une aiguille aimantée est déviée par la terre dépend évidemment de la force magnétique propre de l'aiguille, comme elle dépend de la force du globe. Gauss est le premier qui ait trouvé le moyen pratique d'isoler ces deux variables pour déterminer la part de la terre; sa méthode est actuellement employée dans tous les observatoires magnétiques. Elle consiste à faire osciller librement un barreau aimanté dont on a déterminé le moment d'inertie, puis à mesurer les déviations que ce barreau imprime à une aiguille aimantée quand on le place à diverses distances déterminées de cette aiguille. M. Pouillet a repris tout récemment cette question par des procédés un peu différents; il est arrivé à des résultats semblables. En prenant pour unité un aimant qui à un mètre de distance produirait sur un aimant identique un effort de 1 gramme, l'aimant terrestre, à la distance où il agit, à

Paris, serait représenté par 0,56 ; si l'on considère maintenant que les actions magnétiques varient en raison inverse du carré des distances, on arrive à un chiffre énorme pour la valeur intrinsèque de l'aimant terrestre. Mais cet aimant serait très-mobile, soit en lui-même, soit quant à la distribution des forces qui concourent à son effet total. L'action de la terre sur un aimant supposé rigoureusement constant varie en effet sans cesse et en direction et en intensité dans un même lieu de la terre, ainsi que le constatent les observations faites dans tous les observatoires[1].

§ II. — **Perturbations magnétiques.**

Quel que soit celui des éléments magnétiques envisagé, déclinaison, inclinaison, force magnétique totale ou composante horizontale de cette force, on trouve en l'étudiant avec un peu d'attention qu'il subit des modifications presque continuelles, tantôt lentes et successives, tantôt brusques et variant rapidement dans des sens opposés. A certains moments entre autres, ces variations s'accentuent d'une manière singulière et peuvent dans quelques cas être constatés par les moyens les plus ordinaires; les boussoles s'agitent vivement, parcourant plusieurs degrés autour de leur position d'équilibre. Dans son trop court passage à l'Observatoire où il nous a précédé, M. Desains a pu suivre dans tous leurs détails un assez grand nombre de ces tempêtes magnétiques. L'intéressant mémoire qu'il a publié à ce sujet dans les *Annales* de l'Observatoire impérial renferme plusieurs courbes qui ne sont que la reproduction des courbes tracées par les boussoles elles-mêmes à l'aide de procédés photogra-

[1] Parmi les météorologistes modernes, M. Lamont est celui qui s'est occupé avec le plus de zèle et le plus de succès du magnétisme terrestre.

phiques ; elles sont donc la représentation rigoureuse du phénomène. Rien n'est plus tourmenté que ces courbes.

Peu de temps après notre arrivée à l'Observatoire, nous avons repris cette étude interrompue, au point de vue qui domine tous nos travaux en météorologie. Nous avons comparé les variations de l'intensité magnétique avec les variations du baromètre, et nous avons été frappé des concordances générales qui se sont présentées entre les inflexions des deux séries de courbes figuratives de ces deux ordres de phénomènes. La concordance était surtout singulière dans la mauvaise saison ; elle disparaissait en grande partie pendant l'été. En hiver même, l'examen détaillé des deux courbes montre que les deux phénomènes en présence ne sont pas du même ordre malgré les liens qui les unissent. On ne peut supposer en effet qu'il existe une relation directe entre l'intensité magnétique et la hauteur de la colonne mercurielle ; mais les baisses barométriques coïncidant avec l'arrivée des mauvais temps, nous pouvions rattacher à ces derniers les troubles éprouvés par les aimants. M. Kæmtz avait déjà remarqué dans son traité de météorologie[1] que la déclinaison dépend, comme la hauteur du baromètre, de la direction du vent et de la température. Des études ultérieures, trop peu avancées malgré notre désir de les étendre, nous ont montré, chaque fois que les documents réunis nous ont rendu la comparaison possible, que les perturbations magnétiques sont accompagnées de perturbations atmosphériques peu éloignées. Cette coïncidence a été pareillement signalée par le R. P. Secchi, directeur de l'observatoire du Collége Romain. Nous en citerons quelques exemples pris dans les divers mois de l'année.

Le 28 novembre 1863, des perturbations magnétiques sont observées à Paris ; on se rappelle qu'à cette époque une violente

[1] *Cours complet de météorologie* de L. F. Kæmtz, traduit et annoté par Ch. Martins, p. 421.

tempête tournante traversait l'Atlantique se dirigeant sur l'Europe où elle sévit du 1er au 4 décembre, et qu'une série d'autres l'y suivirent. Le 2 décembre, il y eut perturbations magnétiques à Rome et aurore boréale à Stockholm.

Le 23 décembre 1864, l'intensité magnétique, après avoir fléchi les jours précédents, se relève d'une manière assez brusque avec agitation des barreaux. Les mauvais temps, qui précédemment avaient passé à d'assez hautes latitudes, se frayaient une route au travers de l'Allemagne vers la Méditerranée.

Le 10 et le 11 mars 1864, l'inclinaison magnétique diminue brusquement de 4 minutes à Paris; de fortes perturbations magnétiques nous sont signalées à Livourne. Une violente tempête aborde le Nord-Ouest de l'Europe dans la nuit du 10 au 11.

Après une série de beaux jours, des perturbations sont signalées de Rome et de Livourne le 27 avril. A cette époque, une bourrasque abordait le Nord de la France, qu'elle devait traverser lentement les jours suivants pour atteindre la Méditerranée le 30.

En juin de la même année, après plusieurs jours d'un calme à peu près complet, des perturbations se produisent à Rome les 7 et 8 ; une très-forte perturbation a lieu le 8 à Lisbonne; les 8 et 9, les aiguilles sont agitées à Paris. Le 7, une bourrasque orageuse traversait le Midi de la France ; d'autres lui succèdent dans le Nord de la France et sur l'Allemagne; de Berne on nous annonce, le 11, que l'Aar va déborder sous l'influence de pluies continuelles depuis le 10. Le 23, les perturbations reparaissent à Rome et à Paris, et de fortes bourrasques passent dans le Nord-Ouest de l'Europe.

Les 19 et 20 juillet, des perturbations sont signalées à Rome. Le 19, nous annoncions que de fortes brises du N. et N. E. soufflaient à Lisbonne et à la Corogne, et qu'il régnait probablement sur l'Atlantique des bourrasques tendant à pénétrer

sur le Nord-Ouest de la France et sur l'Angleterre. De mauvais temps y passèrent en effet les jours suivants, mais en même temps un violent orage éclatait le 20 à Madrid, un autre éclatait le 22 à Bastia et Cagliari. Il en éclatait le même jour à Leipzig et à Pétersbourg.

Le 19 août, des perturbations se produisent à Rome. Nous disions dans le bulletin du même jour : Le baromètre continue à baisser sur les côtes Ouest de l'Europe et surtout sur le golfe de Gascogne ; une bourrasque semble donc devoir aborder l'Europe à cette hauteur. Plusieurs bourrasques traversèrent la France ; une entre autres, celle du 23, fut assez violente.

Les 19, 20 et 21 octobre, des perturbations sont observées à Rome et à Livourne. Le 18, nous signalions une tourmente dans les hautes latitudes, en ajoutant que la ligne de parcours des mauvais temps semblait se rapprocher de plus en plus de nos latitudes moyennes. Le 19, une tempête tournante se montrait dans l'Ouest de la France et passait le lendemain au Nord de l'Angleterre. Une seconde la suivait le 21 ; son centre traversait l'Angleterre les 22 et 23. Le 25, une troisième descendait du golfe de Gascogne sur le Sud de la France et la Méditerranée.

Le 11 novembre, de fortes perturbations ont lieu à Paris et à Rome. Dès le 10 nous disions dans le Bulletin : Un changement se prépare dans les conditions générales de l'atmosphère. Les mauvais temps semblent se diriger vers les régions moyennes de l'Europe, et nous verrions reparaître sur l'Angleterre et le Nord-Ouest de la France les vents des régions S. avec les mauvais temps qui les accompagnent. Ce mouvement était nettement accusé le 13 ; le 14 et le 15, le centre d'une tourmente traversait l'Angleterre.

Nous avons passé en revue toutes les perturbations des boussoles qui nous ont été signalées dans cette période. Il est bien évident que leur nombre a été plus considérable ; beaucoup ont

échappé à l'attention parce qu'elles se sont produites en dehors des heures d'observation ; d'autres se sont manifestées avec une lenteur qui leur enlevait une partie de leur caractère exceptionnel. Nous ne pouvons donc vérifier la contre-partie des faits signalés plus haut et voir si chaque bourrasque ou tourmente est accompagnée d'un trouble dans la manifestation des forces magnétiques du globe. Au reste, les mouvements des boussoles sont dépendants de causes à la fois plus générales et plus locales que les mouvements barométriques ; leur étude semble plus complexe peut-être parce qu'elle n'a pas encore été sérieusement entreprise avec l'aide des cartes synoptiques étendues à l'Europe et à l'Atlantique. Il y a là, croyons-nous, tout un sujet de recherches d'un grand intérêt.

Les aurores boréales exercent une action très-marquée sur les aimants, alors même qu'elles ne sont pas visibles du lieu où s'agitent les boussoles. Pendant plusieurs années, Arago, en suivant les variations de l'aiguille de déclinaison à l'observatoire de Paris, a pu, sans être jamais mis en défaut, annoncer l'apparition de l'aurore boréale dans notre hémisphère. Depuis l'extension des lignes télégraphiques, l'influence de ces phénomènes polaires a pris un caractère encore plus net. Des courants électriques se produisent avec une telle intensité sur les lignes que le service en est gêné et quelquefois complétement interrompu. Nous en citerons un seul exemple dû à M. Matteucci.

Lors de la belle aurore du 27 novembre 1848, cet éminent physicien se trouvait au bureau du télégraphe électrique de Pise, quand il fut surpris par la suspension soudaine de la marche des appareils qui avaient très-bien fonctionné toute la journée ; semblable accident arrivait aux appareils de Florence : les électro-aimants restaient fortement aimantés, malgré l'interruption du courant électrique fourni par la pile. Cet effet singulier dura jusqu'au lever du jour, et le télégraphe put

fonctionner de nouveau sans avoir éprouvé d'altération. Des effets analogues furent constatés le même jour en Angleterre par M. Highton.

Le service télégraphique fut également troublé sur toute la surface de l'Europe par la magnifique aurore du 28 août 1859. Deux jours après, une nouvelle aurore était aperçue d'une grande partie des continents d'Europe, d'Asie et d'Amérique, et l'action perturbatrice était générale. Les courants électriques furent assez énergiques pour que l'on vît partir des étincelles entre des points interrompus sur les lignes. Aux États-Unis, deux employés du télégraphe placés aux stations de Boston et de Portland, purent se servir des courants produits par l'aurore à la place du courant de la pile, pour correspondre pendant assez longtemps.

Les orages donnent lieu à des phénomènes de même nature et quelquefois même beaucoup plus énergiques; mais ces effets sont toujours circonscrits à de petites distances. Dans les deux cas la cause première est la même; mais l'aurore acquiert dans ses manifestations une ampleur que ne peut avoir un phénomène aussi local que l'orage; par contre, ce dernier, par le fait même de sa concentration, peut atteindre en un point donné une violence beaucoup plus grande.

Les perturbations produites par les aurores sont d'autant plus fortes que l'on s'avance plus dans le Nord, elles pourraient être une difficulté sérieuse pour l'établissement de longues lignes télégraphiques passant par les régions septentrionales.

Certaines conditions semblent nécessaires à la production des aurores. Elles se forment surtout dans une atmosphère plus ou moins chargée de petits cristaux de glace analogues à ceux qui composent nos cirrus. On voit très-bien au jour les parties brumeuses qui ont paru sous la forme de plaques aurorales, pendant qu'elles étaient illuminées par la transmission de l'é-

lectricité d'une particule à l'autre. Quelquefois aussi on aperçoit des traînées de cirrus dans la région où s'élevaient les rayons les plus brillants. Pendant le jour, les nuages se groupent et s'arrangent quelquefois à peu près comme les rayons d'une aurore et alors, d'après Humboldt, ils paraissent troubler l'aiguille aimantée. M. de Tessan, dans sa relation du voyage de *la Vénus*, rapporte qu'un des officiers de la frégate prédisait toujours les belles aurores boréales, en observant dans la journée la disposition des cirrus. Nous avons vu, chapitre x, que les cirrus sont formés par des particules de glace. L'amiral Wrangel a remarqué que des arcs de halos se formaient autour de la lune au moment où des rayons s'élançaient dans la direction de cet astre, et le halo est dû à la réflexion de la lumière de la lune ou du soleil à la surface de petits cristaux de glace. Ces cristaux microscopiques peuvent exister dans l'air alors même que le ciel garde une apparence très-sereine. Le docteur Richardson, par un beau temps et une température de 32 degrés au-dessous de zéro, voyait l'arc de l'aurore dans le voisinage du zénith et constatait au même moment la chute d'une neige extrêmement fine, à peine visible, mais qui laissait des gouttelettes en fondant sur la main. Dans les contrées du Nord, des voyageurs se sont trouvés au sommet des montagnes subitement enveloppés d'un brouillard transparent de couleur grise passant au vert, et qui donnait ensuite lieu, dans une région supérieure, à une splendide aurore boréale.

La présence des particules glacées rend l'atmosphère suffisamment conductrice pour permettre l'écoulement de l'électricité des hautes régions vers le sol : cet écoulement produit les lueurs de l'aurore et l'agitation des boussoles.

Les particules glacées, de leur côté, sont le résultat de l'extension des courants équatoriaux dans les régions polaires ; et ces courants, en y apportant la vapeur d'eau nécessaire, favorisent également l'écoulement, de l'équateur vers les pôles par

les hautes régions atmosphériques, de l'électricité nécessaire à la formation de l'aurore. Les bandes de cirrus accusent l'existence de ces courants équatoriaux quels que soient les vents superficiels à la terre, et l'orientation de ces bandes donne la direction des courants aériens. Au Canada, des registres météorologiques, commencés depuis longtemps, indiquent l'état de l'atmosphère les jours qui précèdent ou qui suivent l'apparition des aurores. Presque tous ces jours-là il a plu, et surtout neigé.

Tout mouvement anormal des boussoles, tout trouble apporté dans le fonctionnement des lignes télégraphiques, est le résultat d'un changement dans la répartition de l'agent électrique dans l'atmosphère, et par suite dans la situation de cette dernière.

Les courants perturbateurs produits localement sur nos lignes télégraphiques proviennent d'orages circonscrits dont l'apparition sur notre territoire peut ainsi nous être annoncée dès le début ; la connaissance des routes suivies en chaque circonstance par ces météores nous permettra de désigner les points menacés par ces derniers.

Les perturbations générales des lignes sont dues à de grandes aurores. Elles doivent nous renseigner sur les courants généraux de l'atmosphère dans les hautes latitudes et secondairement à la surface de l'Atlantique.

Les perturbations plus restreintes accusent les mouvements électriques résultant du passage d'un mouvement tournant.

Les agitations des boussoles sont liées à l'intervention isolée ou collective de ces trois causes; elles sont donc d'une interprétation plus délicate et plus laborieuse, mais aussi elles sont d'une constatation plus facile pour chacun.

Chaque fois que nous comparons la carte magnétique, planche XXIV, aux cartes des mouvements généraux de l'atmosphère et des mers, planches VI et VII, nous sommes involontairement

frappé des analogies que nous remarquons entre elles, comme si les courants équatoriaux formaient les principaux fils conducteurs de l'électricité marchant de l'équateur vers les pôles. Que si l'on se refusait à nous suivre jusque-là, nous espérons du moins que les considérations précédentes suffiraient à montrer qu'il existe en dedans de notre atmosphère des sources d'explications suffisantes pour toutes les perturbations magnétiques sans remonter jusqu'au soleil.

On comprendra pareillement l'importance que les mouvements des aiguilles aimantées et les troubles naturels apportés au fonctionnement des lignes télégraphiques peuvent acquérir dans un avenir, peu éloigné peut-être, pour la prévision du temps. Le télégraphe nous transmet chaque jour l'état de l'atmosphère observé le matin à heure fixe sur un nombre déterminé de points de l'Europe. En dehors de ces renseignements périodiques, sans troubler en rien le service des lignes, en utilisant même ses difficultés temporaires, on peut tirer de l'état fonctionnel de chaque ligne des indications précieuses sur les changements qui s'opèrent dans l'atmosphère à de très-grandes distances. Le réseau télégraphique, en s'allongeant à la surface du globe, forme comme un vaste système nerveux allant recevoir en chaque point, pour la transmettre au centre, l'impression résultant de la situation atmosphérique en ce point. Chaque progrès du réseau marque un progrès dans la science du temps.

FIN

Note A. — Congrès de Vienne (Voir page 32).

La conférence de Bruxelles a réalisé un grand progrès; elle était loin cependant d'avoir résolu d'une manière complète toutes les questions que soulève l'organisation météorologique internationale. Après une expérience de vingt années, il était nécessaire de reprendre l'œuvre commencée pour y introduire les améliorations indiquées par la pratique.

Le désir d'une entente nouvelle entre les météorologistes des divers pays avait été manifesté par plusieurs d'entre eux et notamment par M. Buys Ballot, d'Utrecht; nous résumons, dans les lignes qui suivent, la note que nous insérions dans le bulletin mensuel de juin 1872.

« L'exposition universelle qui doit s'ouvrir à Vienne dans le courant de l'année 1873 sera, nous l'espérons, l'occasion d'une réunion en congrès des divers météorologistes des pays civilisés. Cette réunion est désirable; elle répond à un des besoins les plus impérieux de la science, celui de s'entendre sur la conduite des observations, sur leur mode de publication, sur leur élaboration par un travail d'ensemble conformément à des règles acceptées d'un commun accord, enfin sur la répartition du travail entre les divers établissements météorologiques, de manière à marcher vers le but avec la moindre somme d'efforts, sans gêner cependant la liberté d'allures de chaque homme de science.

« Le congrès international de Bruxelles arrêta un plan uniforme d'observations nautiques. Peut-être dans ses prescriptions dépassa-t-il le but qu'on devait le plus utilement poursuivre; peut-être conviendrait-il de limiter plus étroitement les demandes qui sont adressées à la majorité des navigateurs. — Ce qui a été réalisé pour les observations faites en mer ne l'a pas encore été pour les observations faites sur terre.

« En 1865, lors du congrès des philosophes de Suisse, M. Dove avait invité des météorologistes d'Autriche, d'Espagne, de France et d'Italie à venir conférer à Genève sur l'uniformité

des travaux; mais plusieurs manquèrent à l'appel et la réunion ne fut pas internationale. M. Dove à cette époque déclara d'ailleurs publiquement que l'on n'obtiendrait de bons résultats d'un congrès qu'autant que les points à discuter auraient été proposés et examinés à l'avance.

« Mû par le même sentiment, M. Buys Ballot, directeur de l'Institut météorologique d'Utrecht, vient de publier sous le titre de *Suggestions* une brochure où il expose ses vues sur les points à débattre dans le prochain congrès. Nous espérons de notre côté que les météorologistes français profiteront de la première réunion de l'association française pour l'avancement des sciences qui se tiendra à Bordeaux en septembre 1872, pour discuter en commun leurs projets et pour se préparer ainsi au congrès de Vienne. »

Voici le résumé des délibérations de la section de météorologie de l'association réunie à Bordeaux, résumé que nous avons inséré dans le bulletin mensuel de septembre 1872.

1° Est-il nécessaire d'introduire pour toutes les observations météorologiques les mêmes unités de mesure dans tous les pays, ou suffit-il d'établir certaines règles pour la réduction des mesures employées dans les différents pays ?

R. L'uniformité des mesures est vivement désirable ; mais en la supposant même acceptée en principe par tous les pays, sa réalisation complète exigerait un temps assez long. Il paraît donc nécessaire d'établir immédiatement des règles pour la réduction des diverses mesures à un même type, et d'effectuer cette réduction dans les publications ayant un caractère international.

Toutes les observations d'un même pays, publiées dans les recueils locaux n'ont pas besoin, au même degré, d'être introduites, régulièrement et au cours du temps, dans la science générale. Celle-ci doit s'appuyer d'abord sur un nombre limité de stations bien choisies et convenablement pourvues. Il importe que les observations faites dans ces stations soient mises à la disposition de tous les météorologistes sans retard et dans un état de préparation qui en rende l'emploi facile. Les détails de la science peuvent, pendant quelque temps encore être

laissés dans chaque pays aux soins exclusifs des météorologistes de ce pays. Pendant ce temps, les avantages incontestables qui découleraient de l'uniformisation complète des unités de mesure apparaîtront de plus en plus et la transformation s'effectuera sans trop d'efforts.

2° Quelle est la meilleure construction pour les baromètres des stations de second ordre. Peut-on admettre pour ces stations le baromètre anéroïde ?

R. Dans toutes les stations situées en terre ferme, il est désirable qu'on ne fasse usage que de baromètres à mercure ; mais on peut simplifier la forme du baromètre de Fortin pour les stations de second ordre de manière à diminuer son prix. Pour nous, le baromètre type est encore celui de Fortin, sans que le principe de sa construction soit le seul qui soit acceptable, et l'on doit laisser libre carrière aux efforts des constructeurs. L'essentiel est qu'il y ait dans chaque pays au moins un établissement central muni d'un baromètre normal rigoureusement comparé à ceux des établissements similaires, et que l'observatoire central de chaque région soit chargé d'examiner et de vérifier les baromètres à mercure construits dans ou pour la région.

La section de météorologie émet le vœu que, pour la France, l'inspecteur général des stations météorologiques puisse vérifier sur place tous les baromètres des stations françaises et fasse connaître leur correction.

Quant aux baromètres métalliques, ils présentent deux graves défauts : Leur zéro se déplace avec le temps, et quelquefois d'une manière accidentelle ; de plus la correction thermométrique y est incertaine. On ne doit donc en faire usage que comme indicateur du temps. A ce point de vue, on ne saurait trop en recommander et en répandre l'usage.

3° Quelle installation faut-il adopter généralement pour les thermomètres, afin qu'ils indiquent la véritable température de l'air ?

R. C'est là une des plus délicates questions de la météorologie. L'installation des thermomètres varie beaucoup d'une station à l'autre, et à chaque installation correspondent des résultats

différents. Ajoutons toutefois que les différences portent sur les températures extrêmes bien plus que sur les moyennes.

Généralement en France on préfère abriter simplement les thermomètres par un double toit incliné vers le midi et d'une étendue de 1 mètre carré environ ; on les éloigne des constructions, et le sol, dont ils sont distants de 2 mètres environ, est gazonné. A l'étranger on préfère souvent les renfermer dans des caisses dont les parois sont formées par des persiennes ou des vénitiennes : On substitue alors aux radiations du ciel et du sol celles de la caisse elle-même. Cette dernière disposition est commandée en quelques parties de la France par la violence des vents.

Dans l'état actuel des choses, il nous paraît difficile de demander aux météorologistes des divers pays l'adoption immédiate d'un mode uniforme d'installation des thermomètres. Il faut au préalable mettre bien en lumière les avantages et les inconvénients de chaque mode au moyen d'expériences comparatives faites simultanément par chacun d'eux. Il ne faut pas d'ailleurs se préoccuper seulement de l'avenir ; il faut aussi songer au passé et aux longues séries d'observations qu'il nous a léguées. Il importe à ce dernier point de vue de déterminer exactement la correction propre à chaque procédé d'installation.

4° Quels sont les meilleurs thermomètres à maxima et minima ?

R. Les thermomètres à minima de Rutherford, à alcool incolore, gradués sur tige et comparés dans l'obscurité avec un bon thermomètre à mercure, sont de bons instruments pouvant faire un long service.

Le thermomètre à maxima de Walferdin est à peu près irréprochable quand il est en expérience. Il a l'inconvénient de se déranger facilement quand on l'expédie d'un lieu à un autre. Il peut, il est vrai, être facilement remis en état ; mais cette petite opération, quelque simple qu'elle soit, exige cependant une certaine pratique et demande au moins à être vue faite par un praticien ; aussi préfère-t-on souvent aux Walferdin les thermomètres à maxima de Negretti et Zambra, qui n'ont

pas de chambre thermométrique et dont par suite le mercure ne quitte jamais le réservoir pendant le transport. Par contre, ce thermomètre pistonne souvent, c'est à dire que la colonne marche par sauts de 1 à 2 dixièmes de millimètre; d'autre part la vérification de son zéro est assez incertaine entre des mains inexpérimentées. Nous préférons le thermomètre de Walferdin; dans les stations départementales on emploie le Negretti toutes les fois que le thermomètre doit être expédié par les voies ordinaires, mais la tendanee est de lui substituer le Walferdin.

5° Quels instruments faut-il employer pour mesurer l'intensité du rayonnement et comment rendre les résultats comparables ?

R. Nous ne connaissons qu'un instrument pouvant mesurer exactement l'intensité du rayonnement diurne et nocturne : c'est la pile de Melloni fonctionnant avec une boussole à une seule aiguille; mais c'est là un appareil de laboratoire dont l'usage est limité à un petit nombre d'observateurs : ce n'est pas un instrument d'observation courante.

Le thermomètre noirci au noir de fumée et placé dans un tube de verre vide d'air a l'avantage d'être d'une lecture aussi courante que le thermomètre ordinaire et de donner les radiations provenant de l'ensemble du ciel. Il doit donc *le voir* tout entier: toute partie du ciel qui lui est cachée produit une diminution dans le résultat total. Il nous paraît nécessaire aussi de placer à côté du thermomètre noir dans le vide un thermomètre ordinaire également dans le vide.

Les dimensions de ces instruments influent un peu sur leurs indications; il convient donc de les comparer à l'avance avec un étalon. Du reste, c'est une question qui est à l'étude [1].

6° Comment et à quelles profondeurs faut-il instituer les observations de la température du sol?

R. La question est double.

Au point de vue général de la physique du globe, il faut

[1] Au congrès de Bordeaux, la question des actinomètres était très-peu avancée. Depuis cette époque, il en a été fait une étude suivie à l'observatoire de Montsouris.

descendre aussi profondément que les ressources budgétaires le permettent, de 30 à 50 mètres, et plus si on le peut, suivant la nature du terrain. Le thermomètre électrique de M. Becquerel nous paraît seul applicable dans ce cas. Il serait à désirer qu'un système de ces appareils fût installé dans chacune des principales régions géologiques du nord au midi de l'Europe.

Au point de vue de la météorologie proprement dite et de ses applications agricoles, il suffit d'un thermomètre posé sur la surface même du sol, et de quelques autres placés aux profondeurs qu'atteignent le soc de la charrue et les racines des plantes. A un mètre de profondeur, les thermomètres à tige extérieure et directe exigent déjà des corrections difficiles, à moins qu'elles ne soient fournies par une seconde tige sans réservoir et graduée comme un thermomètre. Du reste, les températures du sol superficiel varient beaucoup suivant sa nature, et l'on obtient des indications spéciales à cette nature tout autant qu'au climat : elles doivent donc être multipliées.

7° Quels sont les meilleurs instruments pour déterminer l'humidité de l'air. — Est-ce que le psychomètre suffit, ou peut-on admettre aussi l'hygromètre à cheveu, et dans quelles conditions ?

Le psychomètre est un instrument bon, sinon absolument bon, dans la saison chaude ou dans les pays chauds. Pendant les froids de l'hiver il manque de sensibilité et devient inférieur à l'hygromètre à cheveu le plus médiocre.

L'hygromètre à cheveu, tel qu'on le construit actuellement, est un instrument peu sûr; le cheveu est tiraillé par une charge trop forte, surtout quand le temps revient vers le sec, et par suite le cheveu s'altère rapidement. Arago avait remédié à cet inconvénient en employant trois cheveux réunis à leur extrémité inférieure sur la même poulie et fixés par leur extrémité supérieure aux extrémités de petits leviers qui permetteraient de compenser leur inégal allongement. Ce système, ou celui qui a été adopté à l'observatoire de Montsouris, permet de revenir à un instrument que le psychomètre ne peut pas rem-

placer dans tous les cas. Dans l'hygromètre de Montsouris, le cheveu est libre, tendu seulement par un bout de fil de métal blanc terminé en pointe et dont on suit à l'aide d'une loupe les déplacements sur une plaque de verre divisée en dixièmes de millimètre.

8° Comment arriver à l'uniformité dans la désignation des vents?

Convient-il de calculer la direction moyenne d'après la formule de Lambert? faut-il tenir compte, pour la rose des vents, des faibles brises dont la force est notée par zéro?

R. Seize rhumbs de vents nous semblent préciser d'une manière suffisante la direction des vents[1].

Quant à leur vitesse, il est à désirer que l'usage des anémomètres se généralise. Les anémomètres de Robinson, munis d'un simple compteur kilométrique, formé d'un assemblage de roues dentées, qu'on lit aux heures d'observation courante, sont d'un prix peu élevé et donnent avec une approximation suffisante la vitesse moyenne du vent dans l'intervalle des observations. S'ils sont installés dans un lieu bien découvert, il n'est pas nécessaire de les élever à une très-grande hauteur; mais il conviendrait que, dans les principaux observatoires, plusieurs de ces instruments fussent étagés à des distances variables du sol jusqu'aux régions accessibles les plus élevées.

A la direction moyenne du vent calculée par la formule de Lambert, nous préférerions les roses des vents avec intervention des vitesses comme on les rencontre sur les cartes du Dépôt de la marine. Nous ne ferions cependant aucune difficulté pour admettre les deux, si quelque météorologiste en a besoin pour ses travaux. Là où la vitesse est évaluée par un anémomètre, il nous semble que le vent noté zéro ne doit pas être compté. Les très-faibles brises sont en général toutes locales et accusent plutôt des mouvements de verticalité importants à étudier que des mouvements de transport horizontal.

[1] Les Allemands désignaient le vent d'ouest par la lettre E, et les vents d'est par la lettre O. Le Congrès de Vienne a décidé qu'on devait représenter partout, l'ouest par la lettre W et l'est par la lettre E.

9° Quelle échelle faudrait-il adopter là où la force du vent n'est pas mesurée, mais seulement estimée?

R. Il est à désirer, au point de vue de la transmission télégraphique, que l'échelle ne comprenne qu'un seul chiffre pour chaque degré de force ; qu'elle aille par exemple de 0 à 9 : c'est l'échelle adoptée par la marine française ; mais il n'y aurait là aucun obstacle sérieux à l'adoption d'une échelle qui réunirait la majorité des suffrages.

10. Convient-il d'introduire de simples compteurs pour déterminer la vitesse des vents? Quelles unités faut-il employer pour la détermination de cette vitesse?

R. Nous croyons que les compteurs indiqués au n° 8 seraient d'une grande utilité, et si l'on ne peut immédiatement dans tous les pays établir la même unité, nous demanderions que l'uniformité soit du moins introduite dans les publications ayant un caractère international, et dont l'adoption par le Congrès nous paraît des plus désirables. Voir n° 22.

11. Quelles seraient la meilleure forme, grandeur et exposition pour le pluviomètre? A quelle heure convient-il de mesurer l'eau tombée?

R. Le plus simple et le plus répandu des udomètres est l'udomètre Rousseau, dont l'entonnoir circulaire en zinc a une surface de 4 décimètres carrés. A l'Observatoire de Montsouris, le vase destiné à recueillir l'eau est installé dans un pot enfoui dans le sol, de manière que les bords de l'entonnoir soient à peu près à la hauteur moyenne du gazon, à 10 ou 12 centimètres au-dessus du sol nu, sur un terrain bien découvert. Dans les écoles normales et dans les stations analogues, on emploie l'udomètre de Babinet, renfermé dans une caisse en bois dont le fond supérieur est formé par l'entonnoir, de telle sorte que, en y plaçant une ou deux veilleuses pendant l'hiver, la neige adhère à l'entonnoir et fond à mesure qu'elle est reçue. Le sommet de l'instrument est à deux mètres environ du sol. Il est utile de lire le pluviomètre deux fois par jour pour distinguer les pluies de nuit de celles du jour.

12. Importe-t-il de compter séparément les jours de pluie ou de neige?

13. Faut-il distinguer le grésil de la grêle?

R. Nous le pensons. Ce sont autant de signes distincts de état de l'atmosphère, et faciles à noter au moyen de signes onventionnels indépendants de la diversité des langues.

14. Faut-il compter le nombre des orages ou seulement ndiquer le nombre des jours d'orage? Comment tenir compte es éclairs de chaleur?

R. Sur le premier point, nous croyons qu'il faut faire l'un t l'autre. Sur le second, l'observation régulière des orages ous a montré que le tonnerre ne s'entend plus au delà de inq à six lieues, même dans la campagne, tandis que l'illuination du ciel par l'éclair peut être vue de vingt-cinq à ente lieues. Les éclairs de chaleur sont donc dus à des rages lointains; à ce titre on devrait les signaler en désignant direction de l'horizon où ils apparaissent.

15° Quel évaporomètre peut-on recommander pour la meure de l'évaporation et quelle exposition faut-il lui donner?

R. L'évaporomètre Piche est celui qui nous paraît donner es résultats les plus comparables. Le mieux, croyons-nous, st de placer l'évaporomètre garni d'un disque de papier blanc u'on renouvelle chaque jour, sous un petit toit qui l'abrite u soleil et de la pluie, *mais non du vent.*

16. Comment évaluer et désigner la quantité de nuages? erait-il utile d'introduire pour l'état du ciel, pour les hydrométéores, etc., des signes généralement compréhensibles et indépendants des différentes langues?

Réponse affirmative.

17. Outre les éléments météorologiques énumérés, convient il d'en établir d'autres, comme, par exemple, l'électricité atmosphérique, dans les observations régulières. Dans ce cas, quels sont les meilleurs instruments à employer?

R. Nous croyons utile d'étendre le champ des observations régulières autant que le comportent les ressources des divers établissements météorologiques. Jusqu'à ce jour [1] l'électricité

[1] L'étude de l'électricité atmosphérique a été commencée en 1875 à l'observatoire de Montsouris; mais elle n'est pas encore assez avancée pour que nous puissions exprimer une opinion précise sur la question posée.

atmosphérique n'ayant pas encore été étudiée en France, l'opinion de la section est réservée sur ce point.

18. Pourra-t-on introduire partout les mêmes heures pour les observations régulières?

R. Ce serait très-désirable; si ce résultat ne peut être obtenu, au moins faudrait-il que dans chacune des séries adoptées par les divers établissements il se trouvât un certain nombre d'heures communes, servant de point de repère.

19. Peut-on établir des règles générales pour la vérification des instruments et pour l'inspection des stations météorologiques?

R. Nous le pensons et ce serait, croyons-nous, un des plus grands progrès qui puissent être réalisés en météorologie. — Nous ajouterons qu'en France il existe un inspecteur général des stations météorologiques.

20. D'après quelles méthodes et pour quelles périodes faudra-t-il calculer les moyennes des différents éléments météorologiques? Est-il préférable de commencer l'année météorologique avec le mois de janvier ou avec le mois de décembre?

R. Les périodes les plus convenables sont pour nous : le jour, le mois, la saison, l'année; mais surtout le jour qui est la base de toute discussion. La répartition des températures et des pluies, par exemple, dans la succession des jours d'une année, exerce une influence décisive sur les récoltes, et cette action est difficile à reconnaître dans les périodes quelque courtes qu'on les suppose.

Nous croyons nécessaire de publier mois par mois les moyennes diurnes, et le commencement de l'année n'a plus dès lors qu'une importance de second ordre. Suivant l'objet particulier de l'étude entreprise, le météorologiste groupera ses éléments de la manière la plus conforme à son objet; l'essentiel est que ces éléments comparables ne lui fassent pas défaut.

Le calcul des moyennes varie suivant les régions. Les observatoires principaux ont à leur disposition des observations multiples faites à diverses heures de la journée et ils disposent pour les faire d'un personnel plus ou moins nombreux qui

manque aux stations secondaires. Les thermomètres à maxima et à minima apportent une grande simplification dans le travail; il semblerait donc utile de généraliser leur emploi.

21. De quelle manière et pour quelles périodes doit-on déduire les valeurs normales des éléments météorologiques ?

Les séries d'observations, faites dans les observatoires ou stations météorologiques, ont des durées très-inégales et embrassent des périodes très-diverses. Il ne nous paraît pas prudent de les comparer entre elles en bloc et sans discussion : on risque ainsi de rapprocher, pour deux stations différentes, des années de caractères fort dissemblables et de fausser ainsi les rapports climatériques des deux stations.

Il n'est guère de pays, en Europe où l'on ne puisse trouver au moins une série continue, remontant presque à l'origine des observations météorologiques régulières dignes de foi. Ces séries pourraient utilement servir de point de départ pour la discussion de toutes les autres. Étant donnée une station appartenant à une région pour laquelle existe cette série type, nous croirions convenable de comparer les moyennes de cette station non avec la totalité de la série type, mais avec l'ensemble des années de cette série correspondant aux observations de la station. C'est dans cet ordre d'idées qu'ont été construites les deux feuilles de diagrammes publiées comme *spécimen* dans le *Bulletin mensuel de Montsouris*.

Dans cette comparaison, il ne faudrait pas embrasser des points trop éloignés, ou même des points rapprochés, mais compris dans des climats dissemblables. Une critique attentive doit présider à ce travail; mais l'introduction, dans la comparaison, d'années qui, existant dans l'un des termes, ne se retrouveraient pas dans l'autre, nous paraîtrait au moins aussi fâcheuse.

22. Est-il possible et désirable de publier les observations d'un nombre restreint de stations de chaque pays, d'une manière identique, et dans un délai relativement court?

R. Ce serait, sans aucun doute, une chose des plus dési-

rables et des plus profitables à la science[1]. Non-seulement les documents devraient y être insérés dans un ordre déterminé à l'avance, mais le format lui-même devrait être arrêté d'un commun accord, et le même pour tous les pays. Nous voudrions, en effet, qu'on abordât la question des publications ayant un caractère international, et que le soin de ces publications fût réparti entre les divers établissements de premier ordre.

Nous avions entrepris, à l'Observatoire de Paris, un atlas des mouvements généraux de l'atmosphère à la surface de l'Atlantique et de l'Europe ; des circonstances qu'il est inutile de rappeler ici ont fait interrompre ce travail qui a été repris en partie par M. Hohn, de Christiania, puis par M. Hoffmeyer, de Copenhague. Au lieu de laisser à cette œuvre utile le caractère en quelque sorte personnel qu'elle a gardé jusqu'à ce jour, malgré le concours des divers météorologistes, il n'est pas douteux qu'une consécration plus haute assurerait sa durée tout en lui fournissant des moyens d'action plus puissants. Sans apporter aucune entrave au libre développement des initiatives individuelles, il nous semble que si les météorologistes parvenaient à s'entendre sur les grands travaux que la science réclame, sur leur répartition entre les établissements disposés à les entreprendre sur des bases générales arrêtées en congrès, la science marcherait d'un pas plus rapide. Chaque travail effectué ouvrirait d'ailleurs de nouveaux horizons, et, les congrès devenant périodiques, l'œuvre générale pourrait chaque année se plier aux conditions nouvelles, nées du progrès accompli.

25. Comment peut-on organiser l'échange des publications météorologiques des divers pays, d'une manière simple, sûre et rapide ?

R. Le service météorologique international jouit partout en Europe, l'Angleterre exceptée, de la franchise télégraphique. Il y a là un moyen de communication rapide. La poste et la librairie font le reste.

[1] Cette idée a été réalisée par le bureau météorologique de Washington, qui publie, jour par jour, les observations faites au même instant sur un grand nombre de points des deux continents.

24. Est-il désirable que chaque pays possède un établissement central pour diriger, coordonner et publier les observations météorologiques ?

R. Cet établissement existe en France et il y est dans les traditions du pays ; mais il ne doit posséder qu'une action morale sur ses correspondants, et se borner à favoriser leurs travaux en contribuant à leur donner plus d'homogénéité et à les faire connaître.

25. Est-ce que l'utilité de l'échange de télégrammes météorologiques est assez reconnue pour lui donner une plus grande extension et une organisation plus solide ?

R. Nous nous bornerons ici à reproduire la phrase par laquelle M. Fradesso da Silveira a répondu à cette demande dans sa lettre imprimée.

« Il nous semble que l'échange des télégrammes devient indispensable ; mais cet échange ne produira pas tous les résultats qu'on en doit attendre, tant que tous les pays ne prendront pas les mesures convenables pour que l'expédition des bulletins ne soit pas retardée. »

26. Quelles mesures faudra-t-il prendre pour assurer l'exécution des décisions du congrès météorologique ?

R. Le congrès de Vienne peut avoir lieu par le libre concours des météorologistes des divers pays. Ils ont qualité suffisante pour y discuter les questions relatives à l'avenir de leur science, et pour s'engager, en ce qui les concerne personnellement, à suivre les prescriptions qui y seront formulées. Les solutions proposées par cette assemblée, fût-elle même accidentelle et dégagée de toute attache officielle, auront sans doute une grande autorité auprès des Gouvernements ; nous croyons cependant que, dans de telles conditions, la réunion projetée perdrait beaucoup de son efficacité.

Dans la plupart des États d'Europe, les établissements météorologiques sont fondés et entretenus par les gouvernements ; et quelle que soit l'autorité dont ils jouissent dans leur pays, les directeurs de ces établissements y sont responsables et des travaux qui leur sont confiés et des ressources en personnel et en matériel qui sont mises à leur disposition.

Les délibérations du congrès peuvent et doivent provoquer des modifications dans la nature et la conduite des travaux entrepris ; des engagements financiers, ou autres, peuvent et doivent en résulter, soit par la proposition de nouvelles unités de mesure, soit par la création de publications d'utilité générale, soit par la demande de franchises télégraphiques et postales plus étendues. Là où des questions d'une telle nature peuvent être soulevées, il semble que les gouvernements intéressés doivent au moins être invités à se faire représenter officiellement. Eux seuls, en effet, peuvent donner au congrès son véritable caractère international et fournir à ses délibérations la garantie qu'elles recevront l'exécution réclamée.

Il semblerait donc nécessaire que les organisateurs du congrès provoquassent l'adhésion officielle des gouvernements à la réunion projetée.

Que si ces démarches sont jugées inutiles ou inopportunes, le premier congrès, tout en gardant un caractère privé, devrait tendre à constituer une association internationale reconnue d'utilité publique, ayant ses assises régulières, comme la Société internationale de géodésie, et désignant, comme elle, une commission d'exécution permanente chargée de préparer les sessions futures et de veiller à l'exécution des délibérations antérieurement prises. Quelle que soit, en effet, l'activité déployée par les météorologistes convoqués à Vienne, ils ne pourront que jeter les premières bases de leur entreprise. L'organisation d'une science qui exige un aussi grand concours de collaborateurs travaillant sur un plan uniforme ne saurait être l'œuvre d'un jour : elle exige une action permanente et prolongée.

Le congrès de Vienne a eu un caractère officiel. Le gouvernement autrichien prit l'initiative de cette mesure et invita les autres gouvernements à nommer des délégués à l'assemblée projetée. Ce congrès était composé de vingt-neuf membres,

représentant quatorze États différents, dont nous donnons ci-dessous les noms :

ALLEMAGNE.	7	MM. BRUNHS, DÖRGENS, EBERMAYER, NEUMAYER, SCHODER, SOHNCKE, WINNECKE.
AUTRICHE-HONGRIE. . . .	6	CZELECHOWSKY, HANN, JELINEK, LORENZ, MULLER, SCHENZL.
BELGIQUE.	2	GLOESENER, ERN. QUETELET.
GRANDE-BRETAGNE. . . .	2	BUCHAN, SCOTT.
CHINE	1	CAMPBELL.
DANEMARK.	1	HOFFMEYER.
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE .	1	MYER.
ITALIE	2	CANTONI, DONATI.
PAYS-BAS.	1	BUYS BALLOT.
PORTUGAL.	1	FRADESSO DE SILVEIRA.
RUSSIE.	1	WILD.
SUÈDE ET NORVÉGE. . . .	2	MOHN, RUBENSON.
SUISSE	1	PLANTAMOUR.
TURQUIE.	1	COUMBARY.
Total :	29	

La France n'y avait envoyé aucun représentant, non que le gouvernement français se désintéressât du congrès, mais par suite de difficultés de personnes.

Le congrès a été ouvert par M. Carl von Stremayr, ministre de l'instruction publique d'Autriche.

Le congrès ne pouvait, en une seule session, donner la solution des nombreux problèmes qui se présentaient à son examen. La question des observations faites en mer a d'abord été écartée pour être soumise à une commission spéciale, qui s'est réunie une première fois à Londres ; d'autres questions, exigeant un examen spécial et des négociations pour arriver à une entente, ont été renvoyées à un autre congrès ; telle est entre autres la publication internationale qui demande le concours pécuniaire des divers gouvernements. Afin de faciliter le travail de la prochaine assemblée, un comité permanent a été nommé, qui sera chargé d'examiner ces questions et de presenter un rapport. Ce comité se compose de MM. Buys

Ballot, président, Bruhns, Cantoni, Jelinek, Mohn, Scott et Wild. Le congrès lui a donné la faculté de s'adjoindre deux nouveaux membres afin de permettre à la France d'y être représentée.

La plupart des vœux exprimés par le congrès de Vienne ou ses délégués sont conformes aux vœux exprimés par le congrès français de Bordeaux ; les questions résolues ont seulement revêtu un caractère plus précis.

Note B. — Conditions de stabilité de l'atmosphère (voir page 102).

M. Peslin, ingénieur des mines, a soumis au calcul les effets du mouvement vertical de l'air sur sa température. Sans le suivre dans le détail de son analyse, nous donnerons les formules auxquelles il est conduit et les résultats qu'il en déduit.

L'air en montant se dilate par l'effet de l'abaissement de la pression qu'il supporte. Cette dilatation produit un abaissement de température variable avec la pression et avec la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air, la chaleur spécifique de la vapeur étant autre que celle de l'air. Tant que l'air n'est pas saturé, la formule reste simple, mais, dès que l'air atteint son point de saturation, tout abaissement de sa température amène une condensation d'une partie de sa vapeur ; cette condensation donne lieu à un dégagement de chaleur latente qui retarde le refroidissement.

Si nous désignons par p la pression de l'air qui s'élève, par q la proportion en poids de la vapeur qu'il renferme, et par h

la hauteur dont il doit monter pour que sa température baisse de 1 degré, nous aurons pour de l'air non saturé :

$$h = 101^m (1 + 1{,}023\, q).$$

A partir de la saturation, la formule change et devient :

$$h = 101^m \frac{1 + 192 \frac{q}{(1 + bt)^2}}{1 + 32 \frac{q}{1 + bt}}$$

dans la quelle $b = 0{,}0046$

Pour de faibles valeurs de t, le dénominateur $(1 + b\ t)$ est très-voisin de 1, en sorte qu'on peut écrire approximativement.

$$h = 101^m \frac{1 + 192\, q}{1 + 32\, q}$$

L'importance de q est ici beaucoup plus grande que dans le cas précédent ; mais elle s'affaiblit dans les temps froids et aux grandes hauteurs.

Il résulte de ces formules que, dans un air complétement dépourvu de vapeur d'eau, la température décroîtrait de 1 degré par ascension de 101 mètres en altitude. Partant de l'altitude de 0 mètre avec une température de 20 degrés, la masse d'air arriverait avec une température de — 14°7 à la hauteur de 3500 mètres, et avec une température de — 64°,2 à la hauteur de 8500 mètres. Dans les mêmes conditions de température au départ, de l'air saturé aurait une température de + 4° à la hauteur de 3500 mètres et de — 28° à la hauteur de 8500 mètres. La vapeur d'eau contenue dans l'air a donc pour effet de ralentir la décroissance de la température dans le sens de la hauteur.

La décroissance réelle des températures dans le sens de la hauteur est très-variable pour un même lieu, suivant les heures du jour, les saisons, ou l'état général de l'atmosphère. Très-lente à certains jours, elle est au contraire, dans d'au-

tres cas, très-rapide, surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère. La stabilité de l'atmosphère change dans le sens contraire. Supposons, par exemple, que la décroissance à un moment donné soit plus lente que ne l'indiquent les formules et, dans ce cas, admettons que, par une cause quelconque, une masse d'air soit soulevée d'une certaine hauteur *h*. Sa température se sera abaissée de 1 degré par exemple; mais la température de l'air ambiant baisse de moins de 1 degré pour une même différence *h* d'altitude. Notre masse d'air sera donc, à la hauteur *h* à laquelle on la suppose parvenue, plus froide que l'air ambiant. Plus froide, elle sera plus dense; donc elle tendra à redescendre. La cause qui aura produit son ascension s'épuisera par son action même; l'atmosphère sera stable. Imaginons, au contraire, que la décroissance des températures de l'air soit plus rapide que ne l'indiquent les formules. La masse d'air supposée transportée à la hauteur *h* y arrivera moins refroidie ou plus chaude que les couches d'air situées au même niveau. Plus chaude, elle sera moins dense; elle tendra donc par elle-même à monter plus haut. La cause qui aura commencé le mouvement se reproduira ou s'acroîtra : l'équilibre est instable. Cette dernière situation est surtout prononcée en certains jours de l'été, pendant lesquels l'air est humide et la chaleur accablante. Les causes de première rupture d'équilibre ne font jamais défaut; le sol n'est jamais homogène ni également échauffé en tous ses points. L'air qui repose à sa surface participe de ces inégalités; il tend à monter là où il est le plus chaud et à descendre là où il est le moins chaud. Le mouvement commencé s'accélère. Les masses d'air ascendant finissent par gagner des hauteurs où elles atteignent leur point de saturation; des nuages arrondis s'y forment qui grandissent quelquefois avec une rapidité surprenante et amènent de violents orages. Les flancs des montagnes échauffés par les rayons solaires favorisent ces mouvements verticaux. Souvent leurs cimes sont garnies de nuages qui paraissent y être rivés alors que les autres voyagent : c'est qu'ils se reproduisent sur place. Là peuvent se former des orages locaux. Presque toujours

cependant, dans nos pays, les orages ont un caractère plus général : ils apparaissent sur le pourtour d'un disque tournant, à une certaine distance du centre, là où l'air est ascendant, et ils se propagent sur de longues distances parallèlement à la route parcourue par le centre du disque tournant. En été, aux latitudes de l'Europe, ces mouvements tournants sont peu intenses, leur dépression barométrique centrale est peu accusée; et, s'ils n'étaient entretenus par le mouvement ascensionnel qu'ils produisent ou qu'ils régularisent, ils s'épuiseraient très-vite.

Il faut bien distinguer ces tores orageux des trombes locales qui y naissent fréquemment et qui ne sont qu'un fait accidentel produit en un point d'un mouvement plus général et plus étendu. L'électricité nous paraît jouer un rôle considérable dans les trombes qu'on rencontre toujours, dans nos parages, sur un tore orageux : le mouvement ascensionnel de l'air serait insuffisant à les expliquer. Nous croyons, d'ailleurs, que certains auteurs se laissent entraîner trop loin par la pensée de rattacher tous les faits à une même origine. Tout mouvement ascendant ou descendant se traduit dans notre atmosphère par une rotation : c'est une conséquence nécessaire de la forme de la terre et de sa rotation diurne : mais ce serait exagérer d'en conclure que toute rotation commence par un mouvement ascendant pour les uns, descendant pour les autres. Les forces naturelles sont multiples, et nous sommes loin d'avoir pu analyser les origines diverses de toutes les tourmentes grandes ou petites : sur presque toutes, sinon sur toutes, nous en sommes encore aux conjectures; c'est une raison de plus pour ne négliger l'étude d'aucune des forces naturelles.

Or la décroissance de la température dans le sens de la hauteur, variable suivant les temps et les lieux, est un fait incontestable d'où résulte non moins évidemment une force motrice capable d'entretenir un mouvement tournant qu'elle n'aurait pas produit. Ce n'est pas la seule force en jeu, surtout au début; elle peut être nulle ou inactive dans certains cas; elle peut être prépondérante ou rester seule dans certains autres :

cas ou en certains temps. C'est à ce point de vue que nous reproduisons ici les conclusions du mémoire de M. Peslin.

I. Un tourbillon qui se propage dans une atmosphère y trouvera d'autant plus d'aliments pour entretenir sa violence, que la loi de décroissance suivant la verticale y sera plus rapide.

II. Toutes choses égales d'ailleurs, le travail moteur créé par le tourbillon et qui entretient sa violence est d'autant plus grand que l'air de l'atmosphère où il se propage est plus près du point de saturation.

Cette dernière condition explique, entre autres raisons, la fréquence des tourmentes à la surface des eaux chaudes du Gulf Stream et dans le courant aérien qui aborde l'Europe après avoir longé son cours.

Note. C. — Théorie des cyclones (voir page 323).

Les désastres causés par les tempêtes tropicales appelées *tornados*, *typhons*, *ouragans* ou *cyclones*, ont dû fixer l'attention des marins sur ces terribles météores. Piddington, aux Indes anglaises, Reid et Redfield, aux États-Unis, M. Bridet, à l'île Bourbon,.. en ont fait l'objet de travaux qui sont promptement devenus classiques dans toutes les marines. M. Keller, ingénieur hydrographe, a résumé, dans son *Traité sur les ouragans*, les particularités de ces phénomènes et les règles de conduite que doivent suivre les marins en présence du danger.

La méthode adoptée dans l'étude des cyclones a été indiquée dans cet ouvrage. On a d'abord réuni, pour chaque ouragan, des extraits des livres de bord de tous les navires engagés dans la tempête; après avoir dépouillé ces matériaux, on a marqué

sur une carte, pour chaque date, les positions des navires et la direction des vents observés; puis, en plaçant sur cette carte une série de transparents sur lesquels on avait tracé des circonférences concentriques, on s'assurait que les flèches du vent à la même heure s'appliquaient sur ces circonférences, en sorte que, à cet instant là, sur toute la région battue par la tempête, la masse d'air reposant sur le sol ou sur la mer devait être animée d'un vaste mouvement gyratoire autour d'un centre déterminé.

Tous les marins admettent bien que, dans les couches inférieures de l'atmosphère, l'air est appelé du pourtour vers le centre de la tempête; mais le fait dominant qui les a justement frappés est le mouvement circulaire de la masse d'air, d'où le nom de *cyclone*, tempête en cercle, qu'ils ont donné au météore.

De là, les règles de conduite en mer.

Par une baisse continue et prolongée, le baromètre qui ne trompe jamais entre les tropiques annonce qu'un cyclone est au loin. Dès que le vent souffle avec une certaine force, faites face au vent, dit Piddington, et, dans l'hémisphère nord, étendez le bras droit : le centre du cyclone est dans cette direction. Dans l'hémisphère sud, c'est du côté gauche et non du côté droit que se trouve le centre. Le vent prenant de la force et le baromètre continuant à descendre, c'est que dans son mouvement de progression le centre de la tourmente se rapproche du navire. Si le vent augmente d'intensité sans changer de direction, c'est qu'on est sur la ligne même que suivra le centre du cyclone; si le vent tourne dans le sens de la rotation du cyclone, on est hors de la ligne du centre et sur le côté maniable de la tempête; si le vent tourne dans le sens contraire, on est encore hors de la ligne du centre, mais sur le côté dangereux. Ces règles sont des plus simples et, en apparence, des plus faciles à appliquer en mer. Les marins se sont assez vite familiarisés avec elles, et ils en sont venus quelquefois à se jouer de ces terribles météores en cherchant à les utiliser pour atteindre plus rapidement à leur but. Le côté dangereux exigeant des manœuvres difficiles et souvent péril-

leuses, ils ont franchi la ligne du centre en passant en avant du cyclone afin de gagner le côté maniable. Une erreur d'appréciation peut alors devenir funeste en engageant le navire au cœur même de la tourmente qu'on a dessein d'éviter. Des naufrages ont eu lieu qui ont fait naître des doutes sur la parfaite justesse des règles prescrites. Les critiques ont surtout mis en avant la tendance de l'air à se porter vers le centre dans les couches inférieures de l'atmosphère, tendance qui avait été reconnue, mais considérée comme négligeable, par les premiers auteurs. On en est arrivé à lui accorder, au contraire, une importance exagérée, du moins si on voulait l'étendre aux parages autres que ceux où elle a été bien constatée. Parmi les réformateurs, se distingue M. Meldrum, le directeur de l'observatoire de l'île Maurice, qui a étudié plusieurs des grands ouragans qui dévastent ces régions. Les diagrammes qu'il donne des cyclones étudiés par lui sont très-différents de ceux de Piddington, Reid et Redfield, Bridet... Au lieu de se composer de cercles concentriques, ils sont formés de spirales convergeant rapidement vers le centre et jusqu'au centre lui-même.

Les uns et les autres de ces diagrammes sont fondés sur de simples constatations de direction des vents observés. Que les interprétations de ces directions de vents soient plus ou moins affectées des dispositions d'esprit propres à chaque auteur, cela est possible et n'est guère douteux. L'interprétation peut être redressée, mais les faits en eux-mêmes ne peuvent être changés, et ils montrent que les cyclones, tout en conservant leur caractère général de tempêtes tournantes, sont loin de présenter, dans tous les cas, la forme géométrique rigoureuse qui leur avait d'abord été donnée. Il en résulte que les règles de manœuvres perdent un peu de leur rigueur pour laisser une plus large part à l'appréciation et à la science personnelle du marin dans chacune des situations où il se trouvera placé.

La loi des tempêtes, telle qu'elle a été formulée à l'origine par Reid et Piddington, a trouvé un ardent défenseur dans M. Faye, qui a inséré dans l'*Annuaire du bureau des longitudes* pour 1875 une brillante notice intitulée : *Défense de la*

loi des tempêtes. L'étendue de cette notice nous oblige à renvoyer le lecteur à l'*Annuaire du bureau ;* nous reproduisons seulement un extrait de la conclusion de M. Faye : « La loi « des tempêtes, dont l'énoncé en termes absolus ne prévoit « aucune des modifications que nous nous bornons à indiquer, « n'est donc réellement qu'une approximation, juste comme « les lois de Képler auxquelles nous l'avons déjà plus d'une fois « comparée. Celles-ci seraient rigoureuses si l'on pouvait faire « abstraction des actions des planètes les unes sur les autres « et sur le soleil; mais ces actions n'étant pas négligeables, « ces belles lois ne sont pas l'expression adéquate de la vérité. « De même pour les lois des tempêtes : elles seraient toujours « exactes si les courants de l'atmosphère n'éprouvaient jamais « d'action perturbatrice; et comme elles ne tiennent pas compte « de ces actions, et ne donnent pas les moyens de les prévoir « ou du moins d'en apprécier l'effet, on ne doit pas toujours « les appliquer les yeux fermés.

« Dans tous les cas, ce n'était pas en substituant la cassi- « noïde à l'ellipse keplérienne qu'on aurait pu faire marcher la « science; de même, ce ne sera pas en remplaçant les dia- « grammes circulaires par des diagrammes centripètes qu'on « augmentera la sécurité des navigateurs. Si nous avons réussi « à donner la véritable interprétation théorique de ces lois, « on nous accordera que le moment n'est pas venu de les « abandonner, mais de les compléter. » Nous ajouterons, avec M. Faye, qu'il peut arriver, dans l'état actuel de nos connaissances, qu'en appliquant les lois des tempêtes dans les conditions où le cyclone est modifié par une cause ou une autre on soit conduit à une fausse manœuvre. Une fois averti, le marin saura trouver dans son habileté et sa vigilance le moyen de conjurer le danger ; mais, de ce que les règles qu'il applique ne sont pas absolues, il conclura, non qu'il faut y renoncer, mais qu'il faut continuer plus avant les études afin d'embrasser les exceptions apparentes dans une formule plus complète dans ses détails.

La rotation, caractère fondamental des cyclones, donne lieu à un double mouvement : centrifuge sur la partie la plus

active du disque tournant, centripète aux deux extrémités de l'axe. Tout l'air, moins la masse des vapeurs condensées en pluies, qui entre par les deux extrémités de l'axe, est expulsé par le disque tournant; mais l'appel qui a lieu par le haut et celui qui a lieu par le bas sont complémentaires l'un de l'autre; l'un peut s'affaiblir au profit de l'autre suivant les lieux et les temps. Le mouvement centripète constaté par M. Meldrum à la surface de la mer, dans les parages de l'île Maurice, peut donc être aussi apparent que l'affirme l'auteur, alors que dans les tempêtes, étudiées en d'autres lieux par MM. Reid, Piddington et Bridet, ce mouvement centripète n'avait qu'une valeur négligeable. Les marins sont prévenus, toutefois, que la règle de se mettre face au vent et de placer le centre de la tempête à 90° sur la droite dans l'hémisphère boréal et à 90° sur la gauche dans l'hémisphère austral n'est pas absolue; que ce centre peut descendre plus bas, à 100° ou 120° par exemple. Que, par suite, quand on est dans le côté dangereux on peut être plus loin de la ligne du centre que la règle ne le ferait croire; et qu'il importe de bien réfléchir avant de couper cette ligne pour passer dans le côté maniable. C'est à une étude plus complète des cyclones, dans chacun des parages qu'ils traversent, qu'il faut avoir recours.

Il est un autre point sur lequel l'attention ne paraît pas s'être assez généralement portée. Un cyclone n'est jamais stationnaire. Dans certains parages, sa vitesse de translation est assez faible et sa vitesse de rotation assez grande pour que la première s'annule devant la seconde. Si alors le mouvement centripète est lui-même négligeable, les règles des premiers auteurs sont entières; mais il n'en est pas toujours ainsi. Or, quand la vitesse de translation du centre est un peu grande, elle modifie d'une manière sensible la direction des vents observés; elle déplace le centre apparent de rotation qu'elle éloigne du côté maniable. On croit donc le centre plus éloigné qu'il ne l'est réellement. Il n'est plus vrai, non plus, de dire que, quand le vent augmente de force sans changer de direction, on est sur la ligne même du centre. Sur cette ligne, le vent change de direction en même temps que de force, puisque l'une des

composantes est constante en grandeur et en direction, tandis que l'autre, constante en direction, varie en grandeur. L'erreur en mer aurait pour effet de faire croire qu'on est encore dans le côté dangereux, alors qu'on serait déjà sur la ligne du centre ou au delà sur le côté maniable. Dans les hautes régions de l'atmosphère, elle a une autre conséquence dont M. Hildebrandson, d'Upsal, n'a pas tenu compte Dans le but d'étudier les mouvements de l'air dans les parties supérieures des tempêtes tournantes dont l'Europe n'est pas plus affranchie que les régions tropicales, M. Hildebrandson réunit les observations de la direction des cirrus faites dans les divers observatoires et en construit des cartes comme celles auxquelles donnent lieu les vents observés à la surface du sol. Pour tirer de ces cartes de cirrus des conclusions exactes, il faut tenir compte d'abord de la vitesse de translation du centre et ensuite de l'avance que la partie supérieure de l'axe du mouvement tournant présente sur sa partie inférieure.

Une troisième cause d'erreur qui peut présenter dans la pratique de plus graves inconvénients que les précédentes provient de ce fait que l'atmosphère n'est pas animée du même mouvement dans toutes sa hauteur. Dans les régions tropicales en particulier, les alizés et contre-alizés forment deux couches distinctes animées de vitesses dont les directions sont très-divergentes, et fournissant chacune sa part de l'air qui entre dans le cercle d'action d'un cyclone. La vitesse de translation de l'axe de ce cyclone participe des deux composantes; elle n'est ni celle des vents inférieurs, ni celle des vents supérieurs. A la surface des mers, l'excès de vitesse de l'air inférieur sur la vitesse d'ensemble de la translation du cyclone modifie la direction des vents observés dans la partie du disque exposée aux vents qui souffleraient si le mouvement n'existait pas. Cette influence manifeste dans les diagrammes de M. Meldrum doit tromper le marin non prévenu, dans son estime sur la position du centre du cyclone et de sa trajectoire.

En présence d'une tempête, la tâche d'un marin est donc loin d'être simple. Les prescriptions anciennes sont le résultat d'un premier aperçu auquel, dans certains parages, il n'y aura

rien à changer : l'erreur serait de les généraliser et de les étendre à tous les parages et à tous les temps. Des forces multiples interviennent dans ces grands phénomènes ; parmi elles il s'en trouve qui, négligeables en tel lieu, ne le sont plus en tel autre. On a pu croire l'étude achevée alors qu'elle n'était que commencée.

M. Ch. Antoine, lieutenant de vaisseau, vient de montrer, dans une *Étude sur les coups de vent* publiée dans la *Revue maritime*, combien peut être féconde l'intervention, dans la discussion d'une tempête, des divers éléments qui y interviennent. A nos latitudes, les tempêtes tournantes ont une vitesse de translation comparable à leur vitesse de rotation, en sorte que l'air nous paraît calme dans le demi-cercle maniable et que les coups de vent sévissent seulement dans le demi-cercle dangereux. En associant les deux mouvements, M. Ch. Antoine retrouve tous les caractères de nos tempêtes.

A la pointe méridionale de l'Amérique, le baromètre semble dans les tempêtes échapper aux règles constatées dans les autres parages; les tempêtes elles-mêmes au lieu d'être circulaires y semblent rectilignes. Qu'on y applique la méthode de M. Ch. Antoine, et l'on verra que ce sont, comme partout, des tempêtes tournantes dont l'aspect est modifié par la composition des vitesses de rotation et de translation. La loi générale est la même en tous lieux; mais en chaque lieu il faut savoir faire la part des forces variées qui y concourent à la production des phénomènes naturels.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION. 1

CHAPITRE PREMIER

Champ d'études

§ Ier. — Champ d'études, son étendue. 21
II. — Origine de la météorologie moderne. 27
III. — Conférence de Bruxelles. 32
IV. — Dépouillement des observations. Cartes statistiques. 37
V. Cartes synoptiques.. 42
VI. — Routes marines.. 44

CHAPITRE II

L'atmosphère, la terre et les mers

§ Ier. — L'atmosphère, sa composition. 50
II. — Poids et hauteur de l'atmosphère. 55
III. — Vapeur d'eau. 57
IV. — Couleur et transparence de l'atmosphère.. 64
V. — La terre.. 68
VI. — La mer. 70
VII. — Marées de l'océan et de l'atmosphère. 72

CHAPITRE III

Les températures du globe

§ Ier. — Chaleur des espaces planétaires. 77
II. — Chaleur solaire.. 78
III. — Influence de l'atmosphère sur les températures du globe. . . . 81
IV. — Variation de la température avec la latitude. 83
V. — Variation annuelle de la température. 88

VI. — Variations diurnes de la température. 98
VII. — Variations de la température avec la hauteur. 101
VIII. — Causes locales ou accidentelles des variations de température. . 105

CHAPITRE IV

Les grands courants de l'atmosphère

§ Ier. — Cause générale des courants de l'atmosphère. 108
II. — Circulation intertropicale. 110
III. — Influence de la rotation de la terre sur elle-même. 113
IV. — Influence des continents et des mers sur la circulation générale de l'atmosphère. 122

CHAPITRE V

La mer et les courants marins

§ Ier. — Composition des mers. 126
II. — Causes générales de la circulation océanique. 128
III. — Influence de la chaleur et du degré de salure des eaux. 130
IV. — Influence des vents. 134
V. — Détermination des courants. 137
VI. — Courant équatorial de l'Atlantique, Gulf Stream. 141
VII. — Mers de sargasse. 151
VIII. — Carte du fond de l'Atlantique. 152
IX. — Courant du Pacifique Nord. 157
X. — Courants de l'Atlantique et du Pacifique Suds. 160
XI. — Courants des mers intérieures. 163
XII. — Glaces flottantes à la surface des mers. 165

CHAPITRE VI

Les pressions barométriques

§ Ier. — Causes générales des variations du baromètre. 168
II. — Hauteur moyenne du baromètre à la surface des mers. 171
III. — Variation du baromètre avec les saisons. 180
IV. — Variations diurnes du baromètre. 183
V. — Oscillations irrégulières du baromètre. 188

CHAPITRE VII

Les vents réguliers

§ Ier. — Les alizés. 192
II. — Vent alizé supérieur de retour ou contre-alizé. 199
III. — Vents périodiques annuels, moussons. 203

IV. — Vents étésiens. 208
V. — Brises périodiques diurnes. 210

CHAPITRE VIII

Les tempêtes tropicales

Ier. — Nature et marche des cyclones.. 217
II. — Théorie des cyclones 223
III. — Direction du vent dans les cylcones.. 233
IV. — Effets produits dans les cyclones.. 245
V. — Règle pour éviter les cyclones en mer. 243

CHAPITRE IX

Les tempêtes de l'Europe

§ Ier. — Loi des tempêtes de Dove.. 247
II. — Bulletin international de l'Observatoire de Paris.. 251
III. — Caractères généraux des tempêtes d'Europe. 257

CHAPITRE X

Les nuages

§ Ier. — Humidité, ses variations diurnes et annuelles.. 275
II. — Influence des vents sur l'humidité de l'air. 280
III. — Brouillards 283
IV. — Nuages. 290
V. — Formes des nuages. 293
VI. — Pluie et neige. 299
VII. — Rosée, givre, gelée blanche.. 302

CHAPITRE XI

Distribution des pluies

§ Ier. — Pluies entre les tropiques.. 306
II. — Déserts tropicaux. 314
III. — Pluies en dehors des tropiques. 316
IV. — Régime des cours d'eau. 324

CHAPITRE XII

Les orages

§ Ier. — Origine électrique des orages. 339
II. — Électricité atmosphérique.. 342
III. — Origine de l'électricité atmosphérique.. 350
IV. — Orage, éclair, tonnerre, foudre, choc en retour.. 354

V. — Du paratonnerre. 362
VI. — De la grêle et des paragrêles. 368
VII. — Formation des orages. 371

CHAPITRE XIII

Origine et marche des tempêtes

§ Ier. — Trombes. 384
II. — Tornades de la zone des calmes équatoriaux. 390
III. — Cyclones. 393
IV. — Tempêtes d'Europe. 395

CHAPITRE XIV

De la prévision du temps

§ Ier. — Rotation des vents. 423
II. — Force des vents.. 424
III. — Pression barométrique.. 417
IV. — État du ciel. 428
V. — Température.. 432
Id. — Applications.. 434
VI. — Service des ports. 436
VII. — Usage du baromètre pour la prévision du temps. 444
VIII. — Service agricole. 458
IX. — Pronostics tirés du baromètre, du thermomètre, de l'hygromètre, de l'état du ciel et des vents.. 465
X. — Prévision du temps dles campagnes.. 471

CHAPITRE XV

Tempêtes magnétiques

§ Ier. — Force magnétique du globe.. 479
II. — Perturbations magnétiques. 486

ADDITIONS

Note A. — Congrès de Vienne. 495
Note B. — Conditions de stabilité de l'atmosphère.. 510
Note C. — Théorie des cyclones.. 514

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES PLANCHES

Planche Ire. — Routes maritimes. 44
II. — Traversée du transport *le Jura*. 48
III. — Lignes isothermes. 84
IV. — Lignes isothères. 92
V. — Lignes isochimènes. 96
VI. — Vents généraux à la surface du globe. 120
VII. — Courants marins. 136
VIII. — Profondeurs de l'Atlantique Nord. 152
IX. — Alizés de l'Atlantique. 196
X. — Route de l'ouragan de 1848. 232
XI. — Carte météorologique du 15 novembre 1864.. 252
XII. — — du 18 novembre 1864.. 356
XIII. — — du 26 novembre 1864.. 260
XIV. — — du 5 décembre 1863. 264
XV. — — du 29 mars 1864.. 268
XVI. — Cartes des pluies sur les continents. 312
XVII. — Cartes des orages du 7 mai 1865. 372
XVIII. — — du 9 mai 1865. 376
XIX. — — du 16 juillet 1865. 380
XX. — Carte synoptique du 1er octobre 1864. 396
XXI. — — du 19 décembre 1864.. 400
XXII. — — du 31 juillet 1864. 404
XXIII. — — du 6 août 1864. 408
XXIV. — Carte magnétique du globe.. 480

ERRATA

Page 38, ligne 8, Bord of trade, *lisez :* Board of trade.
244, — 21-23, grande largue, *lisez :* grand largue.
254, — 6, l'inservation, *lisez :* l'insertion.
257, — 25, la carte du 15 octobre, *lisez :* la carte du 15 novembre.

Typographie Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.







